

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

ХИМИЯ. ЭКОЛОГИЯ. УРБАНИСТИКА

*Материалы
всероссийской научно-практической конференции
(с международным участием)*

г. Пермь, 28–29 апреля 2022 г.

В четырех томах

Том 1

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2022

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

УДК 504.06+711+54.057+504.054+504.064.2:54
Х46

Х46 Химия. Экология. Урбанистика : матер. всерос. науч.-
практ. конф. (с междунар. участием) : в 4 т. – Пермь: Изд-во
Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2022.

ISBN 978-5-398-02741-9

Т. 1. – 249 с. – ISBN 978-5-398-02742-6

Приведены результаты исследований в области экологии, химической технологии и биотехнологии, строительства дорог и транспортных сооружений, машиностроения и материаловедения, направленных на разработку энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Главный редактор

В.Г. Рябов, д-р техн. наук, профессор

Ответственные редакторы

Э.Х. Сакаева, канд. техн. наук

Е.С. Саломатова, канд. техн. наук

Редакционная коллегия

В.В. Вольхин, д-р хим. наук, профессор

В.З. Пойлов, д-р техн. наук, профессор

Я.И. Вайсман, д-р мед. наук, профессор

М.Г. Бояршинов, д-р техн. наук, профессор

Л.В. Рудакова, д-р техн. наук, профессор

Л.С. Щепетева, канд. техн. наук, доцент

М.В. Песин, д-р техн. наук, профессор

УДК 504.06+711+54.057+504.054+504.064.2:54

ISBN 978-5-398-02742-6 (Т. 1)

ISBN 978-5-398-02741-9 (общ.)

© ПНИПУ, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ПРИРОДОСБЕРЕГАЮЩИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИ НЕЙТРАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Н.И. Батуев, А.А. Сурков</i> Перспективы использования электромобилей	7
<i>А.С. Власов, К.Г. Пугин</i> Построение математической модели физико-механических показателей асфальтобетона, полученного с добавлением бурового шлама.....	12
<i>М.С. Гребениčkова, Е.И. Патькова, М.Д. Колесникова</i> Реализация экологических инициатив университетского кампуса по достижению климатической нейтральности	16
<i>Е.Д. Выголова, И.С. Глушанкова</i> Очистка сточных вод от неионогенных синтетических поверхностно-активных веществ физико-химическим методом	20
<i>С.Б. Ефимова, Е.В. Калинина</i> Методы выявления, оценки и минимизации производственных рисков...24	
<i>Д.А. Ефремова, Е.С. Белик</i> Биоуголь как способ депонирования углерода.....	29
<i>Д.А. Ефремова, Е.С. Белик</i> Биологические способы использования углекислого газа	33
<i>А.А. Жубрина, Г.В. Ильиных</i> Альтернативные технологии рекультивации объектов захоронения твердых коммунальных отходов	37
<i>С. В.Карманова, А.В. Мошненкова</i> Анализ применимости методов переработки отработанных автомобильных шин.....	42
<i>Д.С. Лаптов, П.Н. Чариков</i> Описание процесса учета энергетических затрат при переработке сырья на основе использования энергетических потоков.....	48
<i>Н.Л. Лобанова</i> К вопросу об экологичности электромобилей.....	52
<i>А.С. Мамедова, В.В. Шибанова, А.М. Ардуанова</i> Исследование физико-химических свойств гуминовых препаратов на основе торфа.....	57

<i>Е.Ю. Михайлова, М.С. Девяткова, Е.С. Белик</i> Возможности использования выбросов углекислого газа на химических предприятиях.....	63
<i>А.Н. Московцева, А.Е. Жуланова, И.С. Глушанкова</i> Использование реактива фентона в качестве оптимального метода очистки сточных вод производства этилена и пропилена	68
<i>С.М. Мырзина, К.В. Озерова, О.М. Зверев</i> Снеглоблоки как способ утилизации снега.....	73
<i>В.К. Салахова, А.В. Елькин, К.Г. Пугин</i> Геоэкологическая оценка гидродренажных сооружений	78
<i>А.А. Перминова, Л.В. Рудакова</i> Рекультивация солесвалов на калийных предприятиях	83
<i>Е.А. Пичугин, Е.В. Зырянова</i> К вопросу формирования информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям (ИТС НДТ) «Ликвидация объектов накопленного экологического вреда»	89
<i>Т.А. Попова, Г.С. Арзамасова</i> Концепция «зеленого» маркетинга	94
<i>П.М. Пукрокова, Д.Р. Юдина, Р.Л. Гаряева, Э.Х. Сакаева</i> Влияние углеводородов нефти на биологическую активность почв.....	99
<i>М.А. Рюхов, Л.В. Рудакова</i> Оценка антропогенного воздействия на реку Данилиха в г. Перми.....	103
<i>В.К. Салахова, Л.В. Рудакова</i> Анализ методов обращения с пластиковыми отходами.....	107
<i>А.С. Соловьёва, Л.В. Рудакова</i> Оценка поглотительной способности углекислого газа различными штаммами микроводорослей	112
<i>И.А. Устюжанин, Е.А. Горностаева</i> Оценка влияния автомобильного транспорта на загрязнение атмосферного воздуха вблизи рекреационных зон г. Кирова	118
<i>В.В. Ушакова, Н.Н. Слюсарь</i> Концепции по снижению эмиссий биогаза на полигонах ТКО	123
<i>К.А. Хусаинова, Г.М. Батракова</i> Оценка выбросов диоксида углерода от цементных заводов Уральского региона.....	127
<i>С.Ю. Чудинов, М.П. Красновских, А.А. Кетов</i> Переработка отходов в жидкие топлива медленным пиролизом под давлением	131

<i>М.Е. Чужба, А.В. Цыбина, Е.С. Белик</i> Аналитический обзор и обоснование выбора оборудования для учёта и контроля парниковых газов.....	137
<i>Д.А. Шадрина, Е.С. Ширинкина</i> Основные направления декарбонизации целлюлозно-бумажных производств в России	142
<i>А.Л. Шатаева, И.Н. Ташкинова</i> Оценка эмиссий парниковых газов производства аммиака и выявление направлений разработки и реализации климатических проектов.....	146
<i>В.А. Шахлин, Э.Х. Сакаева</i> Влияние креозота на биологическую активность почв	151
<i>Я.Д. Шварцбург, Е.В. Калинина</i> Биоуголь – свойства и области применения	155
<i>Е.И. Шилова, Э.Х. Сакаева</i> Характеристика активного ила с биологических очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия	160
<i>А.А. Шубина, Г.В. Ильиных</i> Индикатор циркулярности материалов как показатель, используемый для оценки перехода к экономике замкнутого цикла.....	164
<i>А.Ю. Якунина, Е.И. Панькова, А.О. Сергеева</i> Применение ESG-критериев для реализации студенческих экологических инициатив в университете	170

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

<i>Т.И. Сахаутдинов, М.В. Песин</i> Исследование соединений бурового оборудования и условий их эксплуатации	174
<i>Е.С. Макаренков, М.В. Песин</i> Определение параметров электромеханической обработки для повышения надежности нефтехимического оборудования.....	179
<i>Д.С. Неулыбин, Г.Л. Пермяков, И.А. Масягин, М.А. Ковтунович, В.О. Красных, Д.А. Макаров</i> Отработка технологии дугового формирования деталей методом наплавки проволочного материала	184

<i>С.Д. Неулыбин, С.В. Варушкин, Г.Л. Пермяков, М.Ф. Карташев, А.О. Печёнкин, С.В. Шишкин, Д.А. Макаров</i>	
Оборудование для отработки технологии послойного формирования из мартенситностареющей стали с послойным упрочнением наплавленных слоев	188
<i>Д.Г. Абдалов, М.В. Песин</i>	
Современный метод повышения надежности запорной арматуры путем ионно-вакуумного азотирования изнашиваемых деталей	193
<i>П.Н. Чариков, Я.Р. Абдуллин</i>	
Модель энергетических потоков на машиностроительном предприятии	198
<i>Е.А. Гангнус, М.В. Песин</i>	
Применение способа присоединённой кавитации в механической обработке сложнопрофильных деталей химического оборудования.....	204
<i>К.О. Вертипрахов, Г.С. Горелов, М.С. Пермяков, К.Р. Муратов</i>	
Динамика формирования шероховатости и плоскостности поверхности в зависимости от условий абразивной обработки.....	207
<i>М.С. Пермяков, К.Р. Муратов, Е.А. Гашев</i>	
Моделирование износа инструмента в процессе абразивной доводки поверхностей.....	213
<i>А.А. Пантелеев, К.Р. Муратов, Е.А. Гашев</i>	
Исследования влияния режимов лезвийной обработки на шероховатость поверхности изделий из титанового сплава.....	218
<i>И.В. Осинников, А.А. Ширяев, Т.Р. Абляз</i>	
Исследование формирования остаточных напряжений при электроэрозионной обработке	225
<i>Э.В. Патракова, Д.А. Борисов, Т.Р. Абляз</i>	
Исследование тепловых процессов при проволочно-вырезной электроэрозионной обработке изделий, полученных с применением гибких аддитивных технологий	230
<i>В.В. Ширяев, Е.С. Шлыков, Т.Р. Абляз</i>	
Исследование процесса пакетированной проволочно-вырезной электроэрозионной обработки полимерных композитных материалов ..	234
<i>В.В. Осинников, В.В. Ширяев, Е.С. Шлыков, Т.Р. Абляз</i>	
Создание роботизированного оборудования для электроэрозионной обработки	239
<i>А.В. Селезнева, И.И. Демин, И.О. Черкасова</i>	
Оценка сотрудников машиностроительного предприятия по методу «360 градусов».....	244

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ПРИРОДОСБЕРЕГАЮЩИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИ НЕЙТРАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 504.054; 621.313; 629.331

Н.И. Батуев, А.А. Сурков

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

В статье представлен обзор литературных данных в области развития электромобилей.

Ключевые слова: электромобиль, выбросы.

N.I. Batuev, A.A. Surkov

PROSPECTS FOR THE USE OF ELECTRIC VEHICLES

The article presents a review of literature data in the field of development of electric vehicles.

Keywords: electric vehicle, emissions.

С наступлением 21 века эксплуатация электромобиля упростилась, а также поменялось отношение к загрязнению окружающей среды. Вследствие этого электромобили составляют в наше время полноценную конкуренцию автомобилям с двигателем внутреннего сгорания (ДВС), которые являются одним из основных источников выбросов парниковых газов, в том числе углекислого газа (CO₂). Транспортные средства, работающие на электричестве, могут обеспечить снижение потенциала глобального потепления по сравнению с транспортными средствами с ДВС. При этом выбросы парниковых газов происходят непосредственно при производстве электроэнергии.

В 2021 году было продано 6,6 миллиона электромобилей, и это около 8,6 % рынка автомобилей, что на 4,5 % больше аналогичного показателя в 2020 году. Динамика продаж электромобилей в мире за 2010–2021 года представлена на рис. 1 [1].

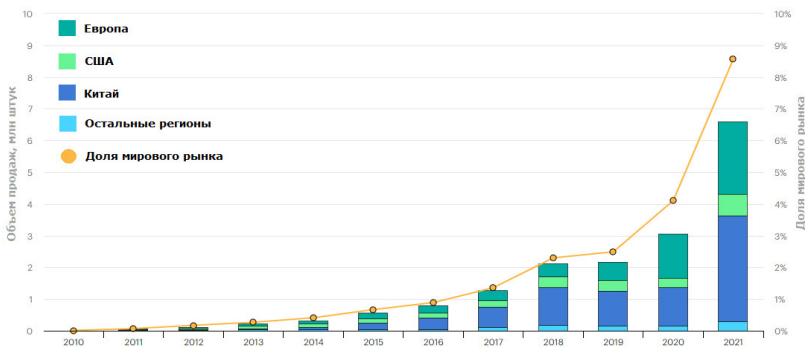


Рис. 1. Мировые продажи электромобилей

Как видно из графика, растут не только продажи электромобилей, но и их доля на мировом рынке автомобилей, к тому же весь чистый прирост мировых продаж автомобилей пришелся на электромобили [1].

Основные рынки для электромобилей – это Китай, страны Европейского союза (ЕС) и США, в них было продано 3,4 миллиона, 2,3 миллиона и 700 тысяч электромобилей соответственно. На рис. 2 представлена доля рынка электромобилей в разных странах в 2021 году [1].

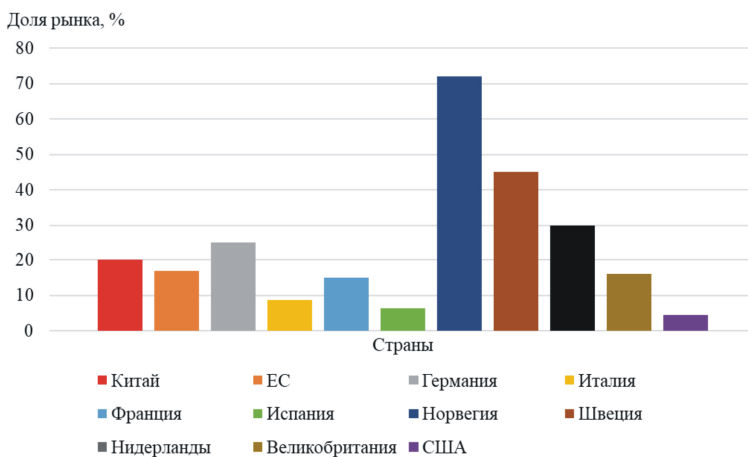


Рис. 2. Доля рынка электромобилей в 2021 году

Крупнейшим поставщиком электрифицированных автомобилей в 2021 году являлась корпорация Tesla – 936 000 проданных машин. Затем идут концерн Volkswagen – 763 000, BYD – 598 000, General Motors – 517 000, Stellantis – 385 000 [1]. В таблице представлены особенности самых продаваемых моделей электромобилей в 2021 году.

Особенности моделей электромобилей

Модель	Количество проданных моделей, штук [2]	Цена, \$	Запас хода без зарядки, км	Время зарядки, ч
Tesla Model 3	500 713	39 940	430	5–8
Wuling Mini EV	424 138	4 162	120	6,5
Tesla Model Y	410 517	53 940	512	7
Volkswagen ID.4	121 631	33 260	410	8
BYD Qin Plus PHEV	111 553	19 840	80	5

С точки зрения воздействия на окружающую среду разница между транспортом с электродвигателем и транспортом с ДВС в том, что выбросы первого являются косвенными и не выделяются при эксплуатации, как это происходит с автомобилями с бензиновыми и дизельными двигателями. Под косвенными выбросами имеется в виду то, что напрямую электромобиль не выделяет вредных веществ в атмосферу и не является источником ее загрязнения, но производство электроэнергии сопровождается выделением парниковых газов. Величина выбросов зависит от способа получения электроэнергии.

На рис. 3 представлено сравнение источников выброса углекислого газа с точки зрения массы выбрасываемого CO₂ в эквиваленте за год для одного автомобиля. В качестве исследуемого транспорта были взяты самые продаваемые в 2021 году модели автомобилей в своих категориях: Tesla Model 3 – электромобиль, Toyota Corolla – автомобиль с бензиновым двигателем, Renault Duster – автомобиль с дизельным двигателем. В качестве расстояния, которое преодолевают автомобили в год, было выбрано 20 000 км. Выбросы парниковых газов в CO₂-эквиваленте на 100 км пути по автомобилям на ДВС представлены на официальных сайтах производителей. Исследования выбросов парниковых газов от различных источников электроэнергии были представлены МГЭИК

в 2014 году [3]. По данным этого исследования на каждый кВт/ч произведенной электроэнергии в зависимости от способа ее получения приходится определённая масса выбросов парниковых газов, выраженная в граммах CO₂-эквивалента. В рамках сравнения электроэнергия, полученная от станций, затрачивается на поездку. Всего было затрачено 3000 кВт/ч.

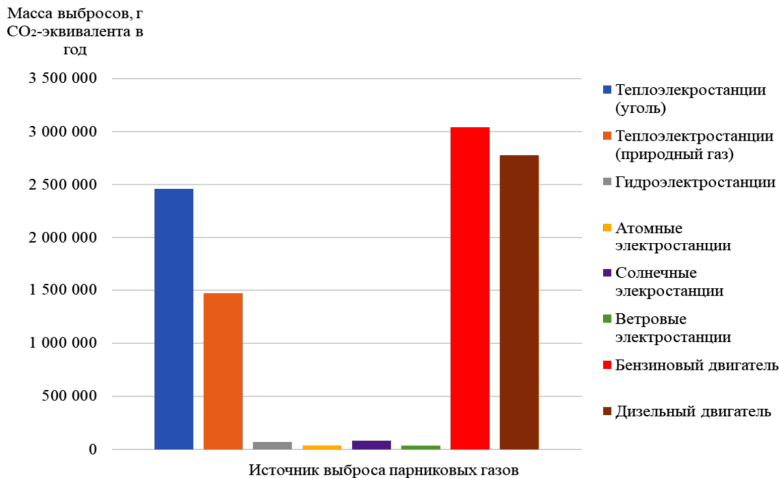


Рис. 3. Количественное сравнение источников выбросов парниковых газов

Данные, представленные на графике, отражают лишь разницу между указанными моделями автомобилей, но в рамках категории практически все виды обладают примерно одинаковыми характеристиками.

Анализ мирового рынка автомобилей показал, что в развитых странах идет тенденция к переходу от автомобилей с ДВС к электромобилям. Также сравнение данных видов транспортных средств в плане выбросов парниковых газов показывает, что вне зависимости от источника электроэнергии электрифицированный автомобиль экологичнее, чем автомобили с дизельным и бензиновым двигателями.

Список литературы

1. Paoli L., Gul T. Electric cars fend off supply challenges to more than double global sales [Электронный ресурс]. – 2022. – URL:

<https://www.iea.org/commentaries/electric-cars-fend-off-supply-challenges-to-more-than-double-global-sales> (дата обращения: 09.03.2022).

2. Jose Pontes. World EV Sales – Tesla Model 3 Wins 4th Consecutive Best Seller Title in Record Year [Электронный ресурс]. – 2022. – URL: <https://cleantechnica.com/2022/01/30/world-ev-sales-tesla-model-3-wins-4th-consecutive-best-seller-title-in-record-year> (дата обращения: 09.03.2022).

3. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change / S. Schlömer, T. Bruckner, L. Fulton [et al.]. – Cambridge: Cambridge University Press, 2014. – P. 1335.

Об авторах

Батуев Никита Игоревич – студент магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nikkibut@mail.ru.

Сурков Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: surkov-a@mail.ru.

А.С. Власов, К.Г. Пугин

**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОНА,
ПОЛУЧЕННОГО С ДОБАВЛЕНИЕМ БУРОВОГО ШЛАМА**

В статье предложено использовать буровые шламы в качестве мелкого заполнителя в асфальтобетоне используемых для строительства автомобильных дорог. В статье показано, что физико-механические свойства асфальтобетонных образцов удовлетворяют требованиям нормативных документов на асфальтобетонную смесь. Построенные математические модели физико-механических показателей асфальтобетона, полученного с добавлением бурового шлама в замен минерального порошка, позволили определить оптимальное содержание бурового шлама и битума. Полученный асфальтобетон удовлетворяет требованиям нормативных документов на асфальтобетон, используемый для строительства верхних и нижних слоев конструкции автомобильной дороги.

Ключевые слова: асфальтобетон, буровой шлам, утилизация отходов, строительство, строительно-дорожные материалы, математическое моделирование.

A.S. Vlasov, K.G. Pugin

**CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE PHYSICAL
AND MECHANICAL INDICATORS OF ASPHALT CONCRETE
PRODUCED WITH THE ADDITION OF DRILL SLUD**

The article proposes to use drill cuttings as a fine aggregate in asphalt concrete used for the construction of roads. The article shows that the physical and mechanical properties of asphalt concrete samples meet the requirements of regulatory documents for asphalt concrete mix. The constructed mathematical models of the physical and mechanical parameters of asphalt concrete obtained with the addition of drill cuttings instead of mineral powder made it possible to determine the optimal content of drill cuttings and bitumen. The resulting asphalt concrete meets the requirements of regulatory documents for asphalt concrete used for the construction of the upper and lower layers of the road structure.

Keywords: asphalt concrete, drill cuttings, waste disposal, construction, building and road materials, mathematical modeling.

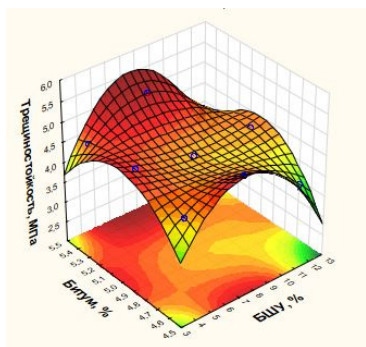
Дорожная отрасль потребляет природные минеральные ресурсы в больших количествах. Снизить потребление природного сырья при производстве дорожно-строительных материалов возможно за счет разработки и внедрения технологий использования материаль-

ного ресурса отходов промышленности, в частности шламов буровых, образующихся при бурении, связанном с добычей сырой нефти, природного газа и газового конденсата, с применением бурового раствора на углеводородной основе (БШУ). БШУ могут содержать нефть от 0,8 до 7,5 %. Минеральная часть БШУ состоит из мелкодисперсной фракции до 80 % менее 0,071 мм. Содержание в БШУ нефти и нефтепродуктов формирует повышенную опасность для окружающей среды (ОС). Высокая степень дисперсности минеральной части БШУ позволяет использовать БШУ в составе асфальтобетонной смеси без дополнительного энергоемкого измельчения. Наличие в БШУ нефтепродуктов и нефти позволяют получить минеральный порошок, который по своим свойствам приближается к активированному минеральному порошку, способному улучшать физико-механические и эксплуатационные свойства асфальтобетона.

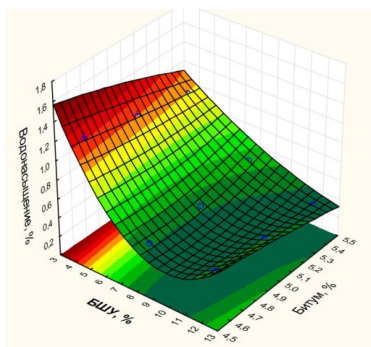
Проведенная нами предварительная оценка пригодности ресурсного потенциала БШУ показала возможность его использования в технологии получения асфальтобетона [1–5]. Наличие в БШУ нефти и нефтепродуктов рассматривается как материальный ресурс, который позволит экономить органическое вяжущее, а высокая степень дисперсности минеральной части БШУ позволит использовать БШУ в качестве минерального порошка, исключая энергоемкое измельчение горных пород для его производства. За основу подбора зернового состава была выбрана горячая мелкозернистая плотная асфальтобетонная смесь типа Б, марки II. Исследования физико-механических свойств полученных образцов асфальтобетона проводились в соответствии с ГОСТ 9128-2013.

С использованием программы статистического анализа «Statistica 10» было произведено математическое моделирование влияния БШУ на физико-механические показатели асфальтобетона. Была построена двухфакторная модель. За фактор влияния X_1 было выбрано процентное содержание бурового шлама. Вариация фактора 8 ± 4 %. Вторым фактором X_2 выступил битум. Вариация фактора $5 \pm 0,4$ %. По результатам вычислений были получены уравнения регрессий и построены математические модели основных физико-механических показателей асфальтобетона. Полученные трехмерные поверхности представлены на рисунке.

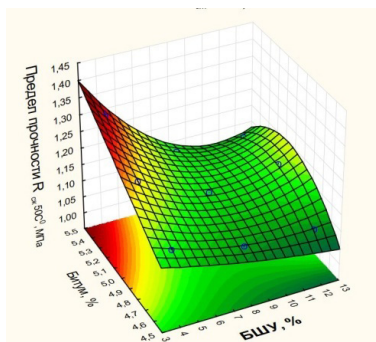
Обработка результатов расчета показала, что оптимальное значение битума находится в интервале от 4,8 до 5,1 % при содержании бурового шлама от 7 до 9 % в зависимости от содержания крупного минерального заполнителя. Большинство моделей имеют



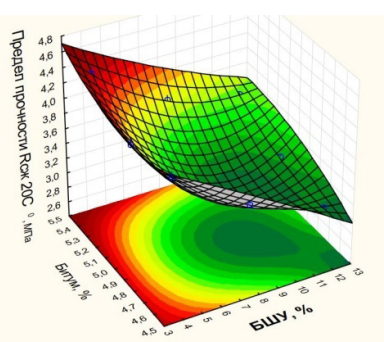
a



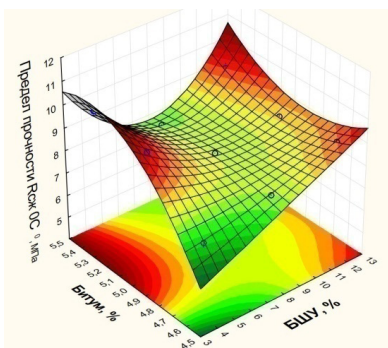
б



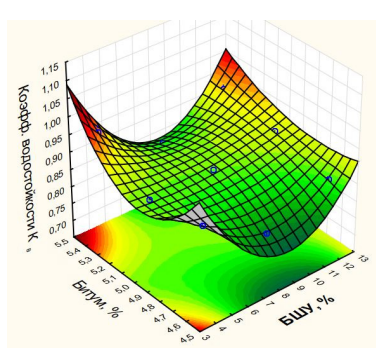
в



г



д



е

Рис. Поверхности физико-механических показателей асфальтобетона:
a – коэффициент трещиностойкости, *б* – показатель водонасыщения,
в – прочность при 50 °С, *г* – прочность при 20 °С, *д* – прочность при 0 °С,
е – водостойкость

седловидные формы, что указывает на оптимальное значение содержания БШУ (8 %) и битума (4,9–5,0 %). Недостаток или избыток переменных ведет к снижению физико-механических показателей асфальтобетона, что обусловлено особенностями структурообразования асфальтобетона.

Список литературы

1. Пугин К.Г., Юшков В.С. Использование вторичных материалов для цементобетонных покрытий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 1. – С. 144–151.

2. Тюрюханов К.Ю. Пугин К.Г. Исследование взаимодействия битума с минеральными частицами в асфальтобетоне // Транспортные сооружения. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 19.

3. Получение экологически безопасных материалов на основе отработанного формовочного песка сталелитейного производства / Я.И. Вайсман, К.Г. Пугин, Л.В. Рудакова [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 3. – С. 109–115.

4. Пугин К.Г., Юшков В.С. Отходы металлургических предприятий для создания цветного асфальтобетона // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 5. – С. 4–7.

5. Власов А.С., Пугин К.Г., Сурков А.А. Геоэкологическая оценка технологии использования отходов бурения в составе асфальтобетона // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 12. – С. 139–142.

Об авторах

Власов Антон Сергеевич – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: anton-vlasov@inbox.ru.

Пугин Константин Георгиевич – доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова; профессор кафедры специальностей водного транспорта и управления на транспорте, Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, e-mail: 123zzz@rambler.ru.

М.С. Гребенщикова, Е.И. Панькова, М.Д. Колесникова

**РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНИЦИАТИВ
УНИВЕРСИТЕТСКОГО КАМПУСА ПО ДОСТИЖЕНИЮ
КЛИМАТИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ**

Рассмотрен вопрос климатической нейтральности и её связи с университетским кампусом. Определён вектор исследования климатической нейтральности кампуса как составляющей будущей климатически сбалансированной политики университета. Обозначены методики количественного определения прямых и косвенный эмиссий парниковых газов на территории университетского кампуса.

Ключевые слова: климатическая нейтральность, углеродная нейтральность, изменение климата.

M.S. Grebenschikova, E.I. Pankova, V.N. Korotaev

**IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL INITIATIVES
OF THE UNIVERSITY CAMPUS TO ACHIEVE CLIMATE NEUTRALITY**

The issue of climate neutrality and its connection with the university campus is considered. The vector of research on the climate neutrality of the campus as a component of the future climate-balanced policy of the university is determined. The methods of quantitative determination of direct and indirect greenhouse gas emissions on the university campus are outlined.

Keywords: climate neutrality, carbon neutrality, climate change.

Достижение «климатической нейтральности», или «нулевых» выбросов парниковых газов, — одна из наиболее актуальных целей по охране климата во всём мире.

По оценкам межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭС), средняя температура воздуха в мире, наблюдаемая в период с 2006 по 2015 год, была выше на 0,87 °C по сравнению с доиндустриальным уровнем в период с 1850 по 1900 год. На фоне этого стали звучать такие определения, как «климатически нейтральная экономика», «углеродный след», «углеродная нейтральность», «парниковый эффект» и др.

В июне 2007 года Генеральный секретарь Организации Объединенных Наций (ООН) выступил с «Климатически нейтральной

инициативой ООН» [1], направленной на минимизацию выбросов CO₂, согласно которой термин «климатическая нейтральность» используется для обозначения деятельности человека с нулевым уровнем выброса парникового газа в атмосферу. При оценке аспекта климатической нейтральности учитывается по возможности полный набор парниковых газов, включенных в Киотский протокол: углекислый газ (CO₂), метан (CH₄), фторид серы (SF₆), двуокись азота (N₂O), гидрофторуглероды (ГФУ) и перфторуглероды (ПФУ). Принцип климатической нейтральности антропогенной деятельности отражён в одной из важнейших Целей устойчивого развития (ЦУР) до 2050 года «Борьба с изменением климата» [2]. Для достижения этой цели к 2030 году необходимо сократить глобальные выбросы углерода на 45 % по сравнению с уровнем 2010 года и достичь нулевого уровня выбросов к 2050 году.

На Пленарном заседании Петербургского международного экономического форума [3] в 2021 году был обозначен вектор экологических инициатив в сфере изменения климата согласно реализации Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Киотского протокола и Парижского соглашения. Также принят Федеральный закон № 296-ФЗ от 02.07.2021 г. «Об ограничении выбросов парниковых газов» [4], который определяет основы правового регулирования отношений в сфере хозяйственной и иной деятельности, которая сопровождается выбросами парниковых газов и осуществляется на территории РФ, континентальном шельфе и исключительной экономической зоне РФ, российском секторе Каспийского моря.

Чтобы снизить антропогенное воздействие на климат, необходимо принять, что «климатическая нейтральность» – это образ жизни общества и политика стран без ущерба для климата [5]. Деятельность осуществляется физическими лицами, юридическими лицами и государствами, что требует изменения менталитета в обществе в целом и признания того, что каждый может внести свой вклад и принять участие в этом процессе. «Климатически нейтральная экономика» – экономическая деятельность, при которой либо парниковые газы не выбрасываются в атмосферу, либо их выбросы полностью компенсируются, то есть нет общего увеличения концентрации газов (чистые нулевые выбросы).

Университеты являются самостоятельными экономическими субъектами, которые ведут экономическую деятельность. Университетские кампусы – обособленная территория, принадлежащая

вузу, включающая внутреннюю инфраструктуру: комплекс сооружений, коммуникации, здания, дороги и дорожное покрытие, имущество и население. Данная территория воздействует на окружающую природную среду, как и любая другая организация, поэтому функционирование университетского кампуса сопровождается выбросами в окружающую среду парниковых газов, а именно прямыми и косвенными эмиссиями углекислого газа, то есть университетский кампус имеет свой углеродный след.

В связи с этим актуален вопрос разработки климатически сбалансированной политики университета, которая опирается на четкое видение и стратегию и ориентирована на действия и конкретные результаты.

Для определения эмиссий углекислого газа университетского кампуса предполагается применить: для прямых эмиссий – унифицированную программу расчёта загрязнения атмосферы (УПРЗА) «ЭКОцентр – Стандарт», расчет ассимиляционной способности лесов, для косвенных эмиссий – методические указания косвенных энергетических выбросов. Это позволит количественно определить углеродный след кампуса, а в дальнейшем переход к технологиям углеродно-нейтрального кампуса может стать элементом экономической политики вуза в качестве инвестиционной стратегии с потенциальной отдачей в будущем. Для перехода к ним вуз должен работать в логике инвестиционной стратегии: вложения в дорогостоящие системы энергосбережения и зеленые технологии окупятся на этапе эксплуатации в динамике 10–15 лет.

Список литературы

1. Пункт 17 повестки дня. Охрана окружающей среды. Инициатива по обеспечению климатической нейтральности системы Организации Объединенных Наций [Электронный ресурс]. – URL: www.icao.int/Meetings/a38/Documents/WP/wp033_ru.pdf (дата обращения: 10.03.2022).
2. Доклад о Целях устойчивого развития на 2021 год на русском языке [Электронный ресурс]. – URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2021/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2021-Russian.pdf> (дата обращения: 01.03.2022).
3. Пленарное заседание Петербургского международного экономического форума [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/65746> (дата обращения: 10.03.2022).

4. Федеральный закон № 296-ФЗ от 02.07.2021 г. «Об ограничении выбросов парниковых газов» [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107020031?Index=0&rangeSize=1> (дата обращения: 10.03.2022).

5. Германович Т.М. «Климатическая нейтральность» и пути ее достижения // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 мая 2016 г. в 2 т. / М-во образования Респ. Беларусь, УО «Белорусский гос. экон. ун-т». – Минск: БГЭУ, 2016. – Т. 2. – С. 182–184.

Об авторах

Гребенщикова Мария Сергеевна – студентка магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: greben-shickowa.masha@yandex.ru.

Панькова Екатерина Илдусовна – старший преподаватель кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: Pankovaei@pstu.ru.

Колесникова Милена Дмитриевна – студентка магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: milena.kolesnikovaaa@gmail.com.

Е.Д. Выголова, И.С. Глушанкова

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕИОНОГЕННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Сточные воды производства средств индивидуальной защиты органов дыхания содержат такие загрязняющие вещества, как неионогенные синтетические поверхностно-активные вещества. Выбор оптимального метода очистки сточных вод является важной составляющей производства. В статье рассмотрен способ очистки сточных вод – коагуляция с последующей адсорбцией. Достоинством данного метода является экономическая доступность, простота эксплуатации и эффективность. При использовании предлагаемого физико-химического метода очистки промышленное предприятие будет иметь возможность перехода к оборотному водоснабжению.

Ключевые слова: сточные воды, коагуляция, адсорбция, процесс обезжиривания фильтрующих коробок.

E.D. Vygolova, I.S. Glushankova

WASTEWATER TREATMENT FROM NON-IONIC SYNTHETIC SURFACTANTS BY THE PHYSICOCHEMICAL METHOD

Wastewater from the production of personal respiratory protective equipment contains pollutants such as non-ionic synthetic surfactants. The choice of the optimal method of wastewater treatment is an important component of production. The article considers a method of wastewater treatment – coagulation followed by adsorption. The advantage of this method is economic accessibility, ease of operation and efficiency. When using the proposed physico-chemical method of purification, an industrial enterprise will be able to switch to a recycled water supply.

Keywords: waste water, coagulation, adsorption, the process of degreasing filter boxes.

Производство средств индивидуальной защиты органов дыхания высоко востребовано. Одним из этапов технологического процесса производства СИЗОД является обезжиривание фильтрующих коробок в ваннах обезжиривания. После завершения технологического процесса образуются промышленные стоки, которые содержат неионогенные СПАВ.

Для извлечения поверхностно-активных веществ из сточных вод в основном используют физико-химические методы.

Одним из самых распространенных комплексных методов очистки сточных вод является коагуляция с последующей стадией адсорбции.

Необходимость очистки сточных вод не вызывает сомнений. Сброс стоков без очистки опасен загрязнением водоемов, атмосферы, почвы, а также гибелью фитопланктона. Однако выбор оптимального метода очистки зачастую затруднен. В связи с этим рассматривается метод очистки стоков с помощью коагуляции и адсорбции как один из наиболее эффективных вариантов.

Методы очистки сточных вод подразделяют на физико-химические, химические, биологические и механические [1]. Кроме того, существуют комплексные методы очистки. На выбор метода очистки сточных вод производства средств индивидуальной защиты органов дыхания, а именно в технологическом процессе обезжиривания фильтрующих коробок, влияют следующие факторы: стоимость, доступность, эффективность, масштабность, экологичность, легкость контроля, простота реализации [2]. Выбор метода очистки зависит от содержания НСПАВ в сточной воде, от присутствия в стоках других примесей, требуемой степени очистки [6].

В технологическом процессе обезжиривания фильтрующих коробок для ванн обезжиривания смешиваются такие вещества, как синтанол и тринатрийфосфат, вследствие чего образуется мыльный пенящийся раствор.

Процесс адсорбции является базисом физико-химического метода очистки [3]. Недостатком адсорбционного метода очистки воды считается необходимость регенерации адсорбента [4]. Но в случае данного предприятия это больше является преимуществом, так как предприятие базируется не только на выпуске СИЗ, но и на производстве АУ (ДАУсоб, КАУсорб, БАУ). В данном случае простая замена насыщенного активированного угля экономически целесообразна.

Процесс коагуляции в предложенном методе будет являться подготовительной стадией перед поступлением очищаемой воды в адсорбер. В качестве коагулянта в рассмотренном методе применяется $Al_2(SO_4)_3$ (10 г/л). Эксперименты по коагуляции проводили методом пробного коагулирования воды.

Цель работы – исследование возможности применения комплексного метода коагуляции и адсорбции для очистки сточных вод производства СИЗОД.

Экспериментальная часть. Для проведения эксперимента ставилось три пробы с исходным раствором [5].

В каждую пробу был добавлен коагулянт (1 мл, 2 мл, 4 мл) для определения оптимальной дозы (рис. 1).

После добавления коагулянта пробы были отфильтрованы и фильтраты были доочищены адсорбционным способом, в качестве сорбентов использовали АУ марок БАУ (проба № 1), КАУ (проба № 2), ДАУ (проба № 3) (рис. 2).

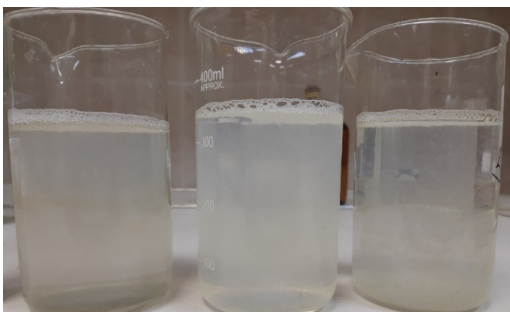


Рис. 1. Процесс хлопьеобразования и выбор оптимальной дозы коагулянта



Рис. 2. Пенообразование при добавлении АУ

После обработки сорбентов качество воды определялось по органолептическим свойствам воды, по значению показателей ХПК и НСПАВ, по методикам, принятым на предприятии. Также было учтено, что очищаемая вода практически не поддавалась пенообразованию.

Установлено что наиболее эффективным сорбентом является АУ марки БАУ.

Учитывая вышесказанное, высокая эффективность физико-химического метода очистки с минимумом ограничений дает возможность введения изученного комплексного метода в технологический процесс предприятия. Проведенный опыт показал возможность применения двустадийной очистки, включающей стадию коагуляции и адсорбции, на промышленном предприятии.

Список литературы

1. Сапронова Ж.А. Разработка комплексной технологии очистки сточных вод нефтехимических предприятий на основе активированных отходов сахарной промышленности на примере Белгородской области // Вестник Технологического университета. – 201. – № 7. – С. 31–36.
2. Вертинский А.П. Современные методы очистки сточных вод: особенности применения и проблематика // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 1. – С. 175–182.
3. Гогина Е.С., Самолеев В.П., Побегайло Ю.П. Решение проблемы очистки сточных вод // Вестник Технологического университета. – 2015. – № 8. – С. 8–10.
4. Очистка сточных вод, содержащих ПАВ, и их повторное использование / Н.И. Миташова, Е.А. Грибач, Е.А. Назарова [и др.] // Экологические биотехнологии. – 2013. – № 3. – С. 48–51.
5. Глушанкова И.С., Рудакова Л.В., Нурисламова Т.В. Химия воды и основы очистки природных и сточных вод физико-химическими методами: учеб.-метод. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. иссл. политехн. ун-та, 2017. – 70 с.
6. Oxidative Destruction of Organic Compounds by Fenton's Reagent in Industrial Wastewater Treatment / I.A. Vasilieva, L.K. Gustyleva, N.A. Samchenko, A.I. Ukolov, E.I. Savelieva // Chemical Safety Science». – 2019. – Т. 2, № 3. – С. 183–193.

Об авторах

Выголова Екатерина Денисовна – магистр кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: vygolova97@mail.ru.

Глушанкова Ирина Самуиловна – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: irina_chem@mail.ru.

С.Б. Ефимова, Е.В. Калинина

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ, ОЦЕНКИ И МИНИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РИСКОВ

Рассмотрена проблема высокого уровня производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Охарактеризованы методы оценки опасностей и производственных рисков. Выделены степени возрастающей вероятности возникновения события. Представлены мероприятия по предупреждению и минимизации производственных рисков.

Ключевые слова: оценка производственных рисков, методы оценки производственных рисков, карта идентификации опасностей, мероприятия по минимизации производственных рисков.

S.B. Efimova, E.V. Kalinina

METHODS FOR DETECTING, ASSESSING AND MINIMIZING PRODUCTION RISKS

The problem of a high level of industrial injuries and occupational diseases is considered. Methods for assessing hazards and industrial risks are characterized. Degrees of increasing probability of occurrence of events are highlighted. Measures for the prevention and, minimization of production risk are presented,

Keywords: occupation risk assessment, occupation risk assessment methods, hazard identification map, measures to minimize occupational risks.

Высокий уровень производственного травматизма и профзаболеваемости на промышленных предприятиях приводит к экономическим трудностям. В связи с этим актуальным является усовершенствование и применение современных методов выявления, оценки и управления профессиональными рисками.

Оценка рисков проводится с целью предотвращения событий, связанных с производственной деятельностью и возможностью причинения вреда здоровью работникам, и представляет собой процесс анализа опасностей, возникающих на рабочем месте в результате выполнения ими трудовых функций, обусловленных технологическим процессом. Процесс оценки рисков осуществляется в несколько этапов, отображенных на рисунке.

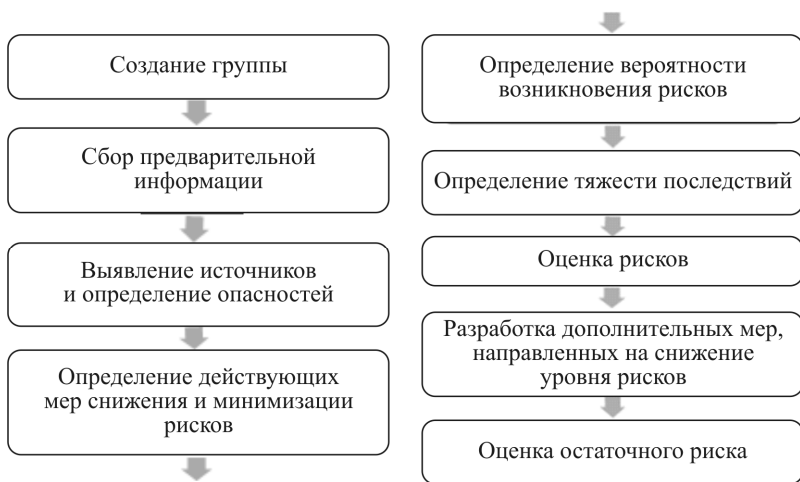


Рис. Этапы идентификации, оценки и управления рисками

Результатом процесса оценки рисков является разработка мероприятий, минимизирующих риск до уровня приемлемости [1]. Целесообразным для оценки рисков является применение метода мозгового штурма, метода «Что будет, если?» и матрицы последствий и вероятностей. В табл. 1 представлена сравнительная характеристика перечисленных методов [2].

Т а б л и ц а 1

Сравнительная характеристика методов оценки рисков

Параметры	Метод мозгового штурма	Метод «Что будет, если?»	Матрица последствий и вероятностей
Особенности метода	Применение метода группой экспертов при введении новых технологий или при отсутствии необходимых данных	Исследование возможных сценариев с последующим предугадыванием исхода, влияний отклонений от стационарного технологического процесса	Применяется для определения приемлемости и неприемлемости опасностей. Результатом является перечень опасных событий с указанием уровня значимости и классом опасности

Окончание табл. 1

Параметры	Метод мозгового штурма	Метод «Что будет, если?»	Матрица последствий и вероятностей
Преимущества	– Расширение нестандартного мышления, которое способствует выявлению рисков и решений по их управлению; – всеобщий обмен информацией и опытом экспертов; – простота применения и минимальные затраты времени	– Применение во всех организациях и видах деятельности; – оперативность выявления и оценки рисков; – исследование ориентировано на оценку реакции системы на отклонения; – применение для совершенствования процессов, технологий и систем; – возможность количественного исследования результатов за счет ранжирования степени риска	Относительная простота использования и обеспечение ускоренного процесса оценки риска по уровням значимости
Недостатки	– Недостаточная опытность и осведомленность участников для результативности исследования; – затруднения с обоснованием всесторонности обсуждения и подтверждения верной информации; – различная динамика мозговой активности специалистов	– Требуется согласование времени встречи со всеми членами группы; – возможность не идентифицирования некоторых опасностей и рисков из-за отсутствия опыта специалистов или вспомогательных фраз; – возможность не выявить сложные и взаимосвязанные причины	Затруднительность составления универсальной матрицы, которая может быть применена при любых обстоятельствах

Результаты проведения анализа рисков должны быть зарегистрированы в карте идентификации, оценки и управления рисками, которая обеспечивает стандартизированный процесс оценки опасных и вредных факторов.

При качественной оценке вероятности возникновения события учитываются следующие факторы: частота выполнения вида работ; количество работников, которые могут подвергнуться риску; частота происшествия события; факторы, способствующие возникновению или увеличению риска; вероятность возникновения неже-

лательного события на объекте, где выполняются должностные обязанности сотрудника организации.

Существует пять уровней вероятности наступления нежелательного события, представленных в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Степени возрастающей вероятности

№ п/п	Степень вероятности	Характеристика
1	Весьма маловероятно	Практически исключено
2	Маловероятно	Сложно представить, однако может произойти при совпадении определенных факторов
3	Возможно	Иногда может произойти при наличии серьезного нарушения
4	Вероятно	Высокая вероятность возникновения при несоблюдении мер безопасности
5	Весьма вероятно	Практически несомненно, даже при соблюдении всех мер безопасности

При разработке мер, снижающих возникновение опасности, отдается предпочтение мероприятиям, направленным на снижение вероятности возникновения риска.

К мероприятиям по предупреждению и минимизации производственных рисков относятся:

- устранение источника опасности;
- замещение опасных единиц на альтернативные и более безопасные;
- применение безопасных систем выполнения работ;
- предоставление адекватного уровня надзора в зависимости от вида работы или задачи;
- организация обучения безопасным приемам выполнения работ;
- проведение инструктажей/информирование по безопасным методам и приемам выполнения работ [3].

Список литературы

1. Тимофеева С.С. Методы и технологии оценки производственных рисков: методическое пособие. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – 177 с.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска. – М.: Стандартиформ, 2012. – 74 с.

3. Илиев А.Г., Гончарова А.Г. Анализ методов совершенствования риск-ориентированного подхода к управлению охраной труда при обеспечении производственной безопасности // Научно-сфера. – 2021. – № 5–2. – С. 93–100.

Об авторах

Ефимова Светлана Борисовна – студент магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: swetl.efimova2018@yandex.ru.

Калинина Елена Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kalininaelena1@rambler.ru.

Д.А. Ефремова, Е.С. Белик

БИОУГОЛЬ КАК СПОСОБ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА

Представлены мировые объемы выбросов углекислого газа. Описаны способы получения биоугля. Представлен мировой опыт создания сорбентов из биоугля. Установлено, что биоуголь может быть использован в качестве сорбента для очистки загрязнений окружающей природной среды.

Ключевые слова: сорбент, биоуголь, утилизация углекислого газа.

D.A. Efremova, E.S. Belik

BIOCHAR AS A WAY TO STORE CARBON

The volume of carbon dioxide emissions in the world is presented. Methods for obtaining biochar are described. The world experience of creating sorbents from biochar is presented. It has been established that biochar can be used as a sorbent for cleaning environmental pollution.

Keywords: sorbent, biochar, carbon dioxide utilization.

Климатическая политика многих стран была пересмотрена по итогам конференции ООН, проходившей в 2015 году в Париже. По мнению специалистов Межправительственной группы экспертов по изменению климата, глобальное потепление на 1,5 °C приведет к необратимым катастрофическим последствиям. Современные антропогенные выбросы углекислого газа превосходят возможности Земли ассимилировать углерод посредством естественного углеродного цикла. Мировые объемы выбросов CO₂ за 2010–2020 годы представлены на рис. 1.

Углекислый газ попадает в атмосферу в результате естественных и антропогенных процессов, например, при разложении биомассы отходов. Возможность депонировать углерод на долгие годы представляет большой интерес и является одним из приоритетных направлений для исследования.

Биоуголь – пористый углеродсодержащий материал, полученный в результате термохимической конверсии органических материалов в условиях обеднения кислородом, а также позволяющий депонировать углерод на долгие годы.

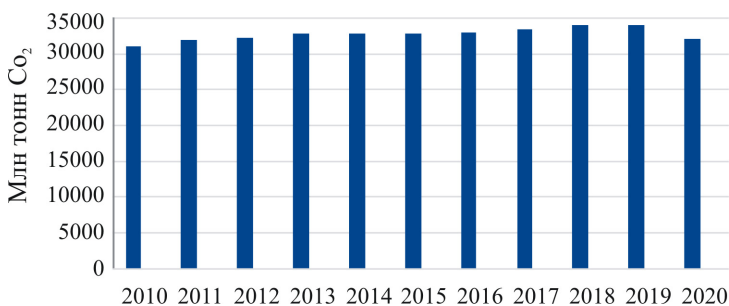


Рис. 1. Мировые объемы выбросов CO₂ с 2010–2020 годы, млн тонн [1]

В качестве сырья при производстве биоугля может быть использовано практически любое органическое сырье – кора, измельченная древесина, в том числе вторичная в виде паллет, поддонов, щепа, фрезерная и окорочная стружка, круглые лесоматериалы, опилки, спелая древесина и многое другое. В табл. 1 представлены характеристики сырья для производства биоугля.

Т а б л и ц а 1

Характеристики сырья для производства биоугля [2]

Критерий	Древесные опилки	Рисовая шелуха	Скорлупа кокоса	Осадки сточных вод
Связанные отходы, %	4,51	2,59	4,19	0,66
Зола, %	5,78	49,21	0,18	89,16
Летучие компоненты, %	20,8	13,37	6,95	5,5
Связанный углерод, %	68,91	34,83	88,68	4,68
Теплотворная способность, ккал/кг	6088–6454	3127–3396	6724–7277	566–706

Существуют различные способы получения биоугля (рис. 2). Физические и химические превращения, происходящие в процессе изготовления, очень сложны и зависят как от природы биомассы, так и от условий работы реактора. Эти условия и характеристики исходного материала (состав, распределение частиц по размерам и размер пор, среди прочего) в значительной степени определяют упомянутые свойства биоугля.

Физико-химические характеристики полученного биоугля позволяют использовать его в качестве сорбционного материала

для очистки от загрязнений, например, для улавливания отходящих газов непосредственно на источниках образования на производственных объектах. В табл. 2 приведен мировой опыт получения биоугля и использования в качестве сорбента для очистки от загрязнений.

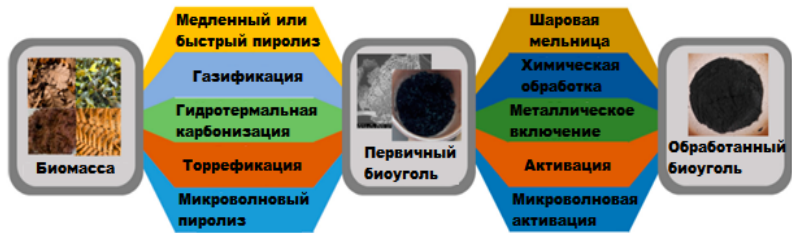


Рис. 2. Способы получения биоугля [3]

Таблица 2

Мировой опыт получения биоугля и использования его в качестве сорбента для очистки от загрязнений [3–5]

Авторы	Сырье для биоугля	Поглощение	Эффективность
Muhammad Asif	Пшеничная солома	Ионы кадмия	31,65 мг/г
Naem и соавторы	Пшеничная солома и H ₃ PO ₄		74,63 мг/г
Honghong Lyu и соавторы	Сахарный тростник	Краситель метиленовый синий	354 мг/г
Jingjie Yang и соавторы	Отработанный активный ил	Тебуконазол	7,8650 мг/г
		Линурон	9,0645 мг/г
Bharat Choudhary и Debajyoti Paul	Кора эвкалипта	Cr (VI)	21,3 мг/г
Sumathi Sethupathi и соавторы	Листья сои	CH ₄	0,094 ммоль/г
		H ₂ S	0,308 ммоль/г
	Листья периллы	CH ₄	0,099 ммоль/г
		H ₂ S	0,537 ммоль/г
	Листья корейского дуба	CH ₄	0,092 ммоль/г
		H ₂ S	0,178 ммоль/г
	Листья японского дуба	CH ₄	0,064 ммоль/г
		H ₂ S	0,167 ммоль/г

Адсорбция на твердой матрице представляет собой хорошо зарекомендовавший себя метод улавливания и выделения СО₂ из отходящих дымовых газов. Поглотитель диоксида углерода должен

демонстрировать высокую селективность в отношении CO_2 по сравнению с N_2 и другими компонентами выхлопных газов, производиться за счет недорогого и низкоэнергетического потребления, демонстрировать гибкую морфологию, пористую структуру и функциональные возможности и обладать хорошими механическими свойствами для повторных циклов адсорбции-десорбции. По этой причине сорбционные материалы, полученные из отходов, вызывают большой интерес, так как могут представлять собой достойную недорогую замену известным сорбентам.

Таким образом, получение биоугля из отходов позволит решить сразу две экологические задачи. Во-первых, предотвратить выбросы CO_2 , а во-вторых, использовать как сорбционный материал для очистки окружающей среды от различных загрязнителей.

Список литературы

1. British Petroleum (BP) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (дата обращения: 02.03.2022).

2. Beston Company [Электронный ресурс]. – URL: <https://bestoncompany.com/ru/biochar-production-equipment/amp/> (дата обращения: 09.03.2022).

3. Fdez-Sanromán A. и соавторы Unravelling the Environmental Application of Biochar as Low-Cost Biosorbent: A Review // Applied Sciences. – 2020. – № 10. – 7810.

4. Dissanayake P. и соавторы Biochar-based adsorbents for carbon dioxide capture: A critical review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2019. – № 119. – 109582.

5. Sethupathi S. и соавторы Biochars as potential adsorbers of CH_4 , CO_2 and H_2S // Sustainability. – 2017. – № 9. – С. 121–130.

Об авторах

Ефремова Дарья Александровна – студентка бакалавриата кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: efremova.daria2014@yandex.ru.

Белик Екатерина Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: zhdanova-08@mail.ru.

Д.А. Ефремова, Е.С. Белик

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Представлены объемы выбросов углекислого газа в России за 1990–2020 годы. Проанализированы биологические способы утилизации углекислого газа. Культивирование микроводорослей и производство из них различных продуктов является одним из перспективных направлений использования диоксида углерода.

Ключевые слова: утилизация углекислого газа, микроводоросли, биотуголь, лесовосстановление.

D.A. Efremova, E.S. Belik

BIOLOGICAL METHODS OF CARBON DIOXIDE UTILIZATION

The volumes of carbon dioxide in Russia for 1990–2020 are presented. The biological removal of carbon dioxide was analyzed. Cultivation of microalgae and production from various products caused by their consumption.

Keywords: carbon dioxide utilization, microalgae, biochar, reforestation.

В 2019 г. в России было ратифицировано Парижское соглашение, направленное на снижение странами-участниками выбросов парниковых газов. К парниковым газам относят такие газы, как CO_2 , CH_4 , N_2O , SF_6 , NF_3 , водяной пар, гидрофторуглероды и перфторуглероды. Выбросы парниковых газов измеряют в CO_2 -экв, учитывая относительный вклад различных парниковых газов в глобальное потепление по сравнению с CO_2 . Объемы выбросов CO_2 -экв в России с 1990 года представлены на рисунке.

В связи с изменением законодательства РФ, введением трансграничного углеродного налога в Европе снижение выбросов парниковых газов становится важной технологической задачей для всех предприятий и в первую очередь для углеродоемких.

Двуокись углерода является сырьем, которое можно улавливать из промышленных дымовых газов, а затем повторно использовать в различных коммерчески жизнеспособных продуктах и процессах. Существует три основных способа утилизации углерода: физический, химический и биологический. Характеристика биологических способов утилизации углерода представлена в табл. 1.

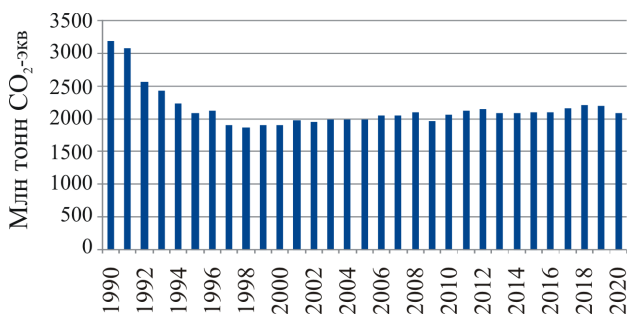


Рис. Объемы выбросов CO₂-экв в России с 1990 года, млн тонн [1]

Т а б л и ц а 1

Характеристика биологических способов утилизации углерода [2–3]

Критерий	Восстановление природных хранилищ CO ₂	Получение биоугля	Культивирование водорослей
Описание	Лесовосстановление. Консервация лесов и отказ от вырубки. Сохранение и восстановление торфяных болот. Щадящий режим лесозаготовок	Термический метод преобразования биомассы	Увеличение биомассы при культивировании водорослей за счет поглощения CO ₂
Объем поглощения, т CO ₂ /т	0,45–3,85	2,33	1,8
Потенциал удаления, Гт CO ₂ /год	0,5–3,6	2,3–5,3	0,5–5
Потребление энергии, кВт/ч	14–25	11–102	1,8
Длительность проекта	6–12 лет	4–5 дней	От нескольких недель до года
Длительность депонирования углерода	До 100 лет	Долгосрочно	До разложения получаемых продуктов
Возможность получения вторичных продуктов	Отсутствует	– Сорбент. – Удобрение	– Биосорбент. – Биотопливо. – Удобрения. – Продукты питания

Одним из перспективных методов биологической утилизации углерода является культивирование микроводорослей. Российские проекты по утилизации CO₂ при культивировании микроводорослей представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Российские проекты по утилизации CO₂ при культивировании микроводорослей

Разработчики	Применяемые микроводоросли	Сфера применения микроводорослей
РЭУ им. Г.В Плеханова	Не указано	Получение органических удобрений и биополимеров
Челябинский госуниверситет	<i>Chlorella, Spirulina</i>	Накопление CO ₂
Стартап We Can Fly	<i>Micractinium</i>	Очистка атмосферы от CO ₂
Роскосмос	<i>Spirulina</i>	Получение продуктов питания и кислорода

Интерес к выращиванию микроводорослей для уменьшения выбросов CO₂ получил подавляющий отклик в исследованиях в основном из-за их высокой скорости фотосинтеза, которая позволяет им биофиксировать CO₂ более эффективно, чем наземные культуры. Микроводоросли и цианобактерии, такие как *Anacystis*, *Botryococcus*, *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Emiliana*, *Monoraphidium*, *Rhodobacter*, *Scenedesmus*, *Spirulina* и *Synechococcus*, были идентифицированы и охарактеризованы для биологической фиксации CO₂.

В исследованиях для выращивания пресноводных микроводорослей чаще всего используют два типа источника углерода, а именно барботирование CO₂ и бикарбонат натрия. Было обнаружено, что барботирование CO₂ может ускорить повышение продуктивности биомассы в 5,2 раза по сравнению с NaHCO₃, однако эффективность удаления CO₂ значительно ниже [4–5].

Внедрение мероприятий по снижению выбросов парниковых газов является актуальной задачей для государства и для предприятий в частности. Одним из перспективных методов утилизации углекислого газа является биологический. Наибольший интерес представляет культивирование микроводорослей и цианобактерий, позволяющих производить продукты с высокой добавленной стоимостью при относительно низких затратах в реализации и малом потреблении энергии, при этом поглощая большие объемы CO₂.

Список литературы

1. British Petroleum (BP) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (дата обращения: 02.03.2022).
2. Frontiers in Energy Research [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2020.574147/full> (дата обращения: 27.02.2022).
3. Sethupathi S. и соавторы Biochars as potential adsorbers of CH₄, CO₂ and H₂S // Sustainability. – 2017. – № 9. – С. 121–130.
4. Lam M.K., Lee K.T. Effect of carbon source towards the growth of *Chlorella vulgaris* for CO₂ bio-mitigation and biodiesel production // International Journal of Greenhouse Gas Control. – 2013. – № 14. – С. 169–176.
5. Tripath R. и соавторы Characterization of microalga *Scenedesmus* sp. ISTGA1 for potential CO₂ sequestration and biodiesel production // Renewable Energy. – 2015. – № 74. – С. 774–781.

Об авторах

Ефремова Дарья Александровна – студентка бакалавриата кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: efremova.daria2014@yandex.ru.

Белик Екатерина Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: zhdanova-08@mail.ru.

А.А. Жубрина, Г.В. Ильиных

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В статье затрагивается вопрос о выборе технологии рекультивации (ликвидации) объектов захоронения твердых коммунальных отходов на постэксплуатационном этапе.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, объекты захоронения твердых коммунальных отходов, рекультивация, экскавация, ресурсный потенциал.

A.A. Zhubrina, G.V. Ilinykh

ALTERNATIVE TECHNOLOGIES OF WASTE DISPOSAL SITE RECLAMATION

The article touches upon the issue of choosing a technology for reclamation (liquidation) of solid municipal waste disposal facilities at the post-operational stage.

Keywords: solid domestic waste, solid domestic waste disposal facilities, reclamation, excavations, resource potential.

Вследствие отсутствия соблюдения необходимой технологии складирования отходов, проведения своевременных природоохранных мероприятий и контроля за состоянием объектов захоронения твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) в Российской Федерации насчитываются сотни полигонов и тысячи несанкционированных свалок, находящихся на разных этапах жизненного цикла и оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Для снижения экологических рисков, связанных с накоплением и разложением твердых коммунальных отходов, важной и востребованной мерой является рекультивация или ликвидация объектов захоронения ТКО на постэксплуатационном этапе. Востребованность рекультивации свалок и закрытых полигонов обусловлена необходимостью стабилизации экологического состояния окружающей среды. Технология рекультивации и выбор перспективного использования земельных участков зависят от качественных и количественных параметров объекта, которые устанавливаются в результате геоэкологических изысканий. На выбор техноло-

гии рекультивации (ликвидации) объектов захоронения ТКО влияют следующие факторы:

- ♦ месторасположение объекта;
- ♦ уровень текущего воздействия на окружающую среду;
- ♦ технология захоронения отходов;
- ♦ вид размещаемых отходов и их свойства;
- ♦ близость к населенным пунктам.

Для снижения объемов отходов, подлежащих перезахоронению, возможным техническим решением является экскавация массива объекта захоронения ТКО с последующим извлечением свалочного грунта (почвогрунта) и, в отдельных случаях, вторичных материалов. Так как со временем содержание ценных фракций отходов снижается за счет процессов разложения и коррозии, при выборе технологий рекультивации или ликвидации старых объектов захоронения отходов должен учитываться и возраст свалок.

На данный момент существует несколько вариантов по реализации проектов рекультивации (ликвидации) объектов захоронения ТКО, представленных на рисунке ниже.



Рис. Технологии рекультивации объектов захоронения ТКО

В настоящее время исследования по экскавации массивов ТКО не теряют актуальность, проблемы освоения и возможности использования складированных отходов сопровождаются оценкой экономических затрат, а также осуществимости данных проектов в современных условиях [1]. Реализация данных технологий с целью обеспечения повторного использования извлеченных ресурсов из массива захоронения отходов позволяет оптимизировать затраты на рекультивацию объектов захоронения ТКО.

Экспкавация массивов является относительно дешевой технологией ликвидации полигона, но при этом не заменяет полноценную рекультивацию объектов захоронения ТКО и восстановления продуктивности нарушенных территорий. Данная технология востребована в большей степени при ликвидации свалок, закончивших жизненный цикл и отвечающих нормативным требованиям, при этом отходы должны быть перезахоронены на санкционированном полигоне.

Реализация сценария, предусматривающего экспкавацию с полным вывозом отходов, включает в себя транспортировку отходов на объект перезахоронения и, соответственно, перезахоронение отходов на ближайшем санитарном полигоне. Наиболее важным параметром в данном сценарии является стоимость перезахоронения отходов, что влечет за собой извлечение максимального количества фракций, которые можно вернуть в хозяйственное пользование.

Отходы, складированные на объектах захоронения ТКО, закончивших свой жизненный цикл, рассматриваются как отложенные материальные и энергетические ресурсы, которые можно извлечь из массива отходов [2]. Затраты на рекультивацию нарушенной территории часто компенсируются продажей или использованием извлеченных материалов, таких как:

- ♦ вторичное сырье (черные и цветные металлы);
- ♦ фракции, обладающие высокой теплотворной способностью для возможности использования в качестве топлива (полимерные материалы, картон, бумага);
- ♦ земельный участок, освобожденный в ходе экспкавации массива отходов [3].

Извлеченный из массива отходов свалочный грунт по своим физико-механическим свойствам приближен к природным водонасыщенным суглинкам и глинам. При отсутствии химического и бактериологического загрязнения его можно рассматривать как весьма перспективный материал для повторного использования в качестве заменителя плодородного грунта при рекультивации освобожденной территории от отходов, а также в качестве вторичной промежуточной изоляции на полигонах захоронения ТКО. В таблице представлен сравнительный анализ технологий рекультивации (ликвидации) объектов захоронения ТКО.

Сравнительный анализ технологий рекультивации объектов захоронения ТКО

Технология	Достоинства	Недостатки
Рекультивация на месте	Восстановление продуктивности территории	Невозможность вторичного использования ресурсов. Ограниченное использование территории
Экскавация и перезахоронение отходов	Освобождение территории от отходов	Невозможность вторичного использования ресурсов. Затраты на перезахоронение
Экскавация с извлечением свалочного грунта	Использование свалочного грунта в качестве плодородного грунта при рекультивации	Процент извлечения зависит от возраста массива захоронения. Низкая эффективность работы мобильного оборудования
Экскавация с извлечением вторичного сырья	Продажа вторсырья и получение дополнительного дохода	Эффективность извлечения зависит от влажности отходов. Большие затраты на сортировку вторичного сырья
Экскавация с извлечением энергетических фракций	Извлечение энергетической фракции. Сокращение объема массива перезахоронения отходов	Процент извлечения фракций зависит от возраста массива захоронения отходов. Загрязнения компонентов отходов

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что наиболее перспективным направлением рекультивации объектов захоронения ТКО является экскавация массива отходов и последующее извлечение материальных ресурсов, позволяющих минимизировать негативное воздействие объекта на окружающую среду и вовлечь в хозяйственный оборот часть отходов, тем самым покрывая часть расходов рекультивацию территории.

Список литературы

1. Румянцева А.В., Березюк М.В, Баркин И.В. Эколого-экономическая оценка использования полигонов твердых коммунальных отходов // Инновационное развитие экономики. – 2019. – № 3 (51). – С. 200–208.
2. Слюсарь Н.Н. Возможности извлечения отложенных ресурсов из массивов захоронения твердых коммунальных отходов // Вестник Пермского национального исследовательского политехни-

ческого университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2016. – № 1 (21). – С. 63–78.

3. Анализ перспектив извлечения материального и энергетического потенциала из твердых бытовых отходов / Я.В. Базылева, Н.Н. Слюсарь, Г.В. Ильиных, В.Н. Коротаев // Теоретическая и прикладная экология. – 2013. – № 1. – С. 61–66.

Об авторах

Жубрина Анастасия Алексеевна – студент магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nastya.zhubrina@yandex.ru.

Ильиных Галина Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: galina.perm.59@yandex.ru.

С.В. Карманова, А.В. Мошненко

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Проанализирован объем образования автомобильных шин в РФ. Проведен сравнительный анализ методов переработки автомобильных шин по выделенным критериям.

Ключевые слова: автомобильные шины, утилизация шин, переработка, измельчение, загрязнение окружающей среды, резиновая крошка.

S.V. Karmanova, A.V. Moshnenkova

ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF WASTE TIRE RECYCLING METHODS

The volume of formation of automobile tires in the Russian Federation is analyzed. A comparative analysis of the methods of processing automobile tires according to the selected criteria was carried out.

Keywords: car tires, tire recycling, recycling, shredding, environmental pollution, rubber crumb.

Производство автомобильных шин сопровождается значительным потреблением разнообразных ресурсов, поэтому возникает вопрос о целесообразности утилизации автопокрышек, пришедших в негодность. Отсутствие централизованных схем обращения с данным видом отходов приводит к тому, что отработанные шины в больших количествах повсеместно складываются на территориях промышленных предприятий, а также организаций автосервиса.

В Постановлении Правительства РФ № 1589-р от 25.07.2017 г. представлен перечень видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается. Среди прочих отходов в данный перечень входят отработанные шины, потерявшие свои потребительские свойства. Разрешенные сроки накопления отходов составляют не более 11 месяцев. На территории РФ основным нормативно-правовым актом, регулирующим деятельность по обращению с отходами, является Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ от

10.01.2002 г., ст 51. За несоблюдение требований в области обращения с отходами Федеральным законом № 308-ФЗ от 30.12.2008 г. предусмотрены административные штрафы как на должностных лиц, так и на индивидуальных предпринимателей, вплоть до остановки деятельности предприятия сроком до 90 суток.

Перерабатывающие шины предприятия в России в основном работают с сырьем, которое поступает от промышленных компаний. Качество сырья при этом должно соответствовать [1].

По данным аналитического агентства Автостат за период 2010–2020 гг., наблюдается неуклонный рост на 30 % российского автопарка. В 2010 г. количество всех транспортных средств составляло 43,9 млн ед, а в 2020 году произошло увеличение на 15 млн и составило 58,7 млн единиц. Рекордсменами по динамике роста являются прицепы +55 %, легкие коммерческие автомобили +31 %. Объем образования в РФ изношенных шин неуклонно растет и составляет примерно около 900 тыс. т.

Состав отхода шин с металлическим кордом по литературным данным [2]: резина – 80 %, текстильный корд – 6 %, металлокорд – 10 %, бортовая проволока – 4 %. Практика показывает, что среди данных отходов измельчаются 10 %, сжигаются – 20 %, а остальные 70 % не подвергаются биологическому разрушению и являются источником длительного негативного воздействия на окружающую среду (период разложения более 100 лет). Земли, где размещаются отходы, не поддаются рекультивации. Изношенные шины годами накапливаются в окружающей среде в автохозяйствах, в частном секторе и др.

Все способы утилизации автомобильных покрышек можно разделить на три группы: механические, химические и термические.

К механическим методам относят механическое измельчение, бародеструкцию («псевдооживление»), криогенную переработку (воздействие жидким азотом и ударно-волновое измельчение в криогенных камерах). К химическим методам относят метод обработки озоном (озоно-динамический метод), а к термическим – сжигание с получением тепловой и электрической энергии и пиролиз с получением ценных жидких и твердых продуктов.

Для анализа применимости способов утилизации автомобильных покрышек, а также их качественного сравнения при выборе того или иного способа, можно воспользоваться методом каче-

ственной экспертной оценки по заранее сформулированным критериям оценки (АВС - метод) [3].

К критериям, обеспечивающим комплексность оценки, следует отнести критерии, характеризующие экологическую безопасность, экономическую эффективность, промышленную безопасность, а также критерии дополнительного законодательного регулирования; все они формулируются экспертами. В статье приведены только некоторые из них, определенные авторами как наиболее целесообразные.

К критериям, оценивающим экологическую безопасность процесса утилизации автопокрышек, отнесены: масштаб воздействия на окружающую среду в процессе утилизации, а также степень завершенности жизненного цикла утилизируемого продукта (отходов автомобильных покрышек). К критериям, оценивающим экономическую эффективность, отнесены: затраты на реализацию процесса утилизации (капитальные и эксплуатационные затраты, включая затраты на транспортировку отходов к месту утилизации), а также ценность получаемых продуктов утилизации. Критериями оценки промышленной безопасности выбраны потенциал аварийной опасности производства (вероятность аварий и масштаб возможных негативных последствий), а также степень негативного влияния на здоровье персонала. К критериям дополнительного законодательного регулирования отнесен потенциал формирования «углеродного следа» (ограничения со стороны ЕС, связанные с новым законодательством в отношении экспортируемых продуктов с «углеродным следом»). Необходимость платежей РФ в казну ЕС за экспорт продуктов со значительным «углеродным следом» может привести к дополнительным налогам внутри нашей страны.

Суть качественной экспертной оценки методом АВС состоит в том, что каждый из методов оценивается по каждому из критериев путем присвоения показателя «А», «В» или «С» результатам оценки. Показатель «А» ставится в случае лучшей экспертной оценки (при наиболее низких уровнях воздействия на окружающую среду, более низких финансовых затратах на реализацию технологии, меньшем риске возникновения аварийных ситуаций и меньших негативных последствиях данных аварий и т.д.). И наоборот, показатель «С» проставляется по критериям оценки, если они характеризуются экспертами как наихудшие для данного метода. Показатель «В» ставится при средних оценках при сопоставлении ме-

тодов. По итогам экспертных оценок проставляется показатель ABC, определяемый суммированием количества оценок «А», количества оценок «В» и количества оценок «С» для каждого метода утилизации. Наиболее целесообразным считается метод, набравший наибольшее количество оценок «А». В качестве экспертов при проведении оценок использовались авторы статьи. Результаты экспертных оценок приведены в таблице.

Результаты экспертных оценок методов утилизации отработанных шин по установленным критериям

Метод утилизации отработанных шин	Критерии качественной оценки метода утилизации							
	Масштаб воздействия на ОС	Степень завершенности жизненного цикла отхода	Затраты на реализацию процесса утилизации	Ценность получаемых продуктов утилизации	Потенциал аварийной опасности производства	Влияние на здоровье персонала	«Углеродный след»	Показатель ABC
Механическое измельчение	А	С	А	А	А	В	В	421
Бародеструкция	А	С	В	А	А	С	В	322
Криогенная переработка	В	С	С	А	С	В	В	133
Обработка озоном	С	С	В	В	В	В	В	052
Сжигание	С	А	С	С	В	В	С	124
Пиролиз	В	А	С	В	С	В	А	232

По итогам экспертных оценок, максимальное количество оценок «А» набрал метод механического измельчения. Он наименее затратен с экономической точки зрения и характеризуется незначительным воздействием на окружающую среду. Но данный метод не завершает жизненный цикл отхода в виде автомобильной покрышки, а продолжает его в виде резиновой крошки, используемой для покрытий различного бытового назначения. Поэтому нельзя с определенной уверенностью сказать, что по окончании цикла эксплуатации данных покрытий эти отходы не попадут на полигоны бытовых отходов, что противозаконно. Это же относится к ме-

тоту бародеструкции. Третьим по количеству набранных показателей «А» является метод пиролиза. Он требует значительных капитальных и эксплуатационных затрат, связанных в том числе с необходимостью транспортировки крупногабаритных отходов к местам утилизации. Но, с точки зрения дополнительного законодательного регулирования, а также степени завершенности жизненного цикла отходов резины автомобильных покрышек, он наиболее предпочтителен. Твердый карбонизат, получаемый при пиролизе резиновых отходов, может направляться на захоронение либо утилизироваться в направлении сорбирующих продуктов.

Широкое распространение метода механического измельчения вышедших из эксплуатации автомобильных покрышек с последующим изготовлением резиновых покрытий связано с дополнительным использованием полимерного связующего, что удорожает процесс, а также негативно влияет на окружающую среду. При использовании некачественного связующего получаемое покрытие под воздействием атмосферы теряет свои характеристики. Уже встречаются случаи отказа частных лиц от такого покрытия в пользу традиционных материалов.

Можно сделать вывод, что в настоящее время проблема утилизации автопокрышек не решена, она с каждым годом становится все актуальней. Переработка шин в резиновую крошку становится одним из основных решений данной проблемы по причине более простой организации процесса. Дополнительное законодательное регулирование, инициируемое ЕС, может привести к дальнейшей экономической нецелесообразности использования данного метода утилизации. И тогда стоит обратить внимание на применение метода пиролиза.

Список литературы

1. ГОСТ 8407-89 «Сырье вторичное, резиновое. Покрышки и камеры шин».
2. ГОСТ Р 54095-2010 Требования к экобезопасной утилизации отработавших шин.
3. Карманов В.В., Арзамасова Г.С., Карманова С.В. Система экологического менеджмента: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 191 с.

Об авторах

Карманова Светлана Валериевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kursnmc@yandex.ru.

Мошненко Анастасия Владиславовна – студент бакалавриата кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nastya.moshnenkova@mail.ru.

Д.С. Лаптов, П.Н. Чариков

**ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА УЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ
ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ**

В работе рассматриваются вопросы разработки системных моделей процесса учета энергетических затрат при переработке сырья на основе использования энергетических потоков. Произведен анализ методик процесса учета энергетических затрат в структуре услуг по переработке сырья на основе использования энергетических потоков и предложены энергетическая и функциональная модели. Также построена модель, отражающая все сущности, их характеристики и взаимосвязи, необходимые для автоматизации процесса учета энергетических затрат.

Ключевые слова: моделирование, бизнес-процессы, энергетические потоки.

P.N. Charikov, D.N. Laptev

**DESCRIPTION OF THE PROCESS OF ACCOUNTING FOR ENERGY
COSTS IN THE PROCESSING OF RAW MATERIALS BASED
ON THE USE OF ENERGY FLOWS**

Abstract. The paper deals with the development of system models accounting process energy consumption during processing of raw materials through the use of energy flows. The analysis methods of accounting process energy costs in the structure of services for the processing of raw materials through the use of energy flows and proposed energy and functional model. Also, a model that reflects all of the entities, their characteristics and relationships necessary to automate the process of incorporating energy costs.

Keywords: testing modeling, business processes, energy flows.

Вступление

Учет затрат при оказании услуг процессинга является важной задачей в экономической деятельности многих предприятий, работающих по так называемым «давальческим» схемам, когда предприятию отгружают сырье, оплачивают услуги по производству и забирают продукцию из этого сырья.

Обзор литературы

В результате решения задачи автоматизации учета материальных потоков в ОАО «Синтез-Каучук» [1, с. 145] были построены схемы основных переделов (рис. 1) [2, с. 143], [3, с. 144], а также функциональная модель системы [4], [5]. Рис. 1 показывает структурные закономерности энергетического потока. Все цеха содержат подразделения, которые состоят из процессов или групп-резервуаров. Введено понятие энергетического потока как перемещение некоторого вещества (номенклатуры) от процесса источника к процессу-приемнику.

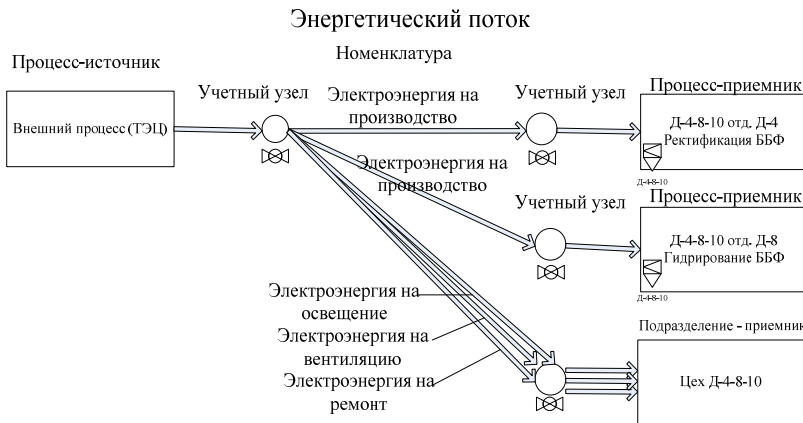


Рис. 1. Модель энергетического потока

Основной текст

Основные характеристики энергопотока: номенклатура, процесс-источник (передел, цех), процесс-приемник (передел, цех), вид расходов (на технологию, общезаводская), учетный узел источника, учетный узел приемника, вид продукции, статья затрат, основная бухгалтерская проводка, признак вхождения в калькуляцию, аналитическая служба, первичный документ учета.

Далее была построена функциональная IDEF-модель [4], которая является основой для построения информационной модели.

Кроме функциональной модели для построения информационной была установлена взаимосвязь первичных документов и от-

четов (рис. 2). Из рис. 2 видно, что для составления ведомости движения сырья СК-12 необходимо формирование всех первичных документов по поступлению сырья, перемещению в пределах производства и отпуску готовой продукции. После проведения инвентаризации Ведомость СК-12 будет содержать полную информацию для составления отчетов СК-13, СК-14, СК-15 и СК-16.

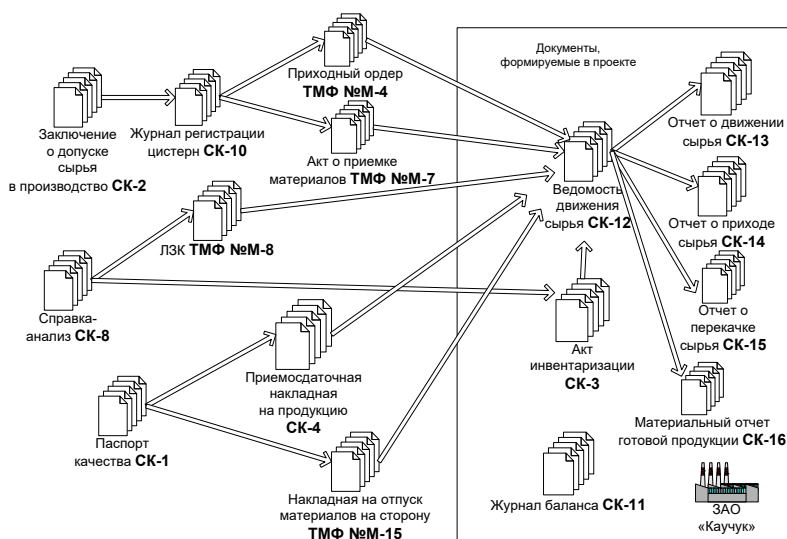


Рис. 2. Взаимосвязь первичных документов и отчетов

Заключение и выводы

Таким образом, информационная модель данного процесса является основой построения логической схемы базы данных информационной системы. Разработанный комплекс системных моделей процесса учета энергетических затрат при переработке сырья на основе использования энергетических потоков адаптирован в соответствии с полученными моделями конфигурации ERP-системы.

Список литературы

1. Чариков П.Н., Кулаков П.А. Задачи учета энергетических затрат при переработке сырья на объектах нефтехимии // Наука и

образование в жизни современного общества: сборник науч. тр. по матер. междунар. науч.-практ. конф. 30 декабря 2014 г.: в 12 ч. Ч. 11. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 145–146.

2. Чариков П.Н., Кулаков П.А. Модель энергетического потока при переработке сырья на объектах нефтехимии // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сборник науч. тр. по матер. междунар. науч.-практ. конф. 31 января 2015 г.: в 16 ч. Ч. 10. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 143–144.

3. Чариков П.Н., Кулаков П.А. Схема основных переделов и материальных потоков производства сополимерных каучуков // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сборник науч. тр. по матер. междунар. науч.-практ. конф. 31 января 2015 г.: в 16 ч. Ч. 10. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 144–146.

4. Чариков П.Н. Системное моделирование организационного управления машиностроительным предприятием при производстве под заказ: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – Уфа, 2004. – 162 с.

5. Кулаков П.А., Шишкина А.Ф., Карасев Е.М. Управление функционированием объектов нефтехимии на основе менеджмента риска // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – URL: www.science-education.ru/120-16482 (дата обращения: 17.02.2022).

Об авторах

Лаптов Дмитрий Сергеевич – бакалавр, магистрант кафедры «Автоматизированные технологические и информационные системы», Уфимский государственный нефтяной технический университет (г. Стерлитамак), e-mail: d.laptoff2012@yandex.ru.

Чариков Павел Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные технологические и информационные системы», Уфимский государственный нефтяной технический университет (г. Стерлитамак), e-mail: charikovpn@yandex.ru.

Н.Л. Лобанова

К ВОПРОСУ ОБ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

В данной статье рассмотрена дискуссионная тема об экологичности электротранспорта, его вклад в шумовое и атмосферное загрязнение. Разобраны используемые некоторыми компаниями пути утилизации аккумуляторов литий-ионного типа.

Ключевые слова: электромобиль, экология, литий-ионные аккумуляторы, загрязнение атмосферы, шумовое загрязнение.

N.L. Lobanova

ON THE ISSUE OF ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF ELECTRIC VEHICLES

This article discusses the controversial topic of the environmental friendliness of electric transport, its contribution to noise and atmospheric pollution. The ways of recycling lithium-ion batteries used by some companies are considered.

Keywords: electric car, ecology, lithium-ion batteries, air pollution, noise pollution.

С выпуска первого гибридного электромобиля Toyota Prius, выпущенного в Японии, прошло около 25 лет [1]. Известно, что от автотранспорта в атмосферу ежегодно поступает около 20 млн тонн вредных веществ. Ученые осознают, что настоящее и будущее благополучие человечества напрямую связано с состоянием окружающей природной среды и полностью зависит от отношения к этой проблеме жителей планеты [2]. Страны Евросоюза, развивая «зеленый план» Европы, поставили целью полный перевод всего автопарка Евросоюза к 2035 году на электрическую тягу. Покупатели зачастую заинтересованы в снижении затрат на содержание легкового транспорта, а правительства стран поддерживают частных лиц льготными тарифами на машины с нулевым выхлопом [3].

Электромобиль – это автомобиль, который приводится в движение с помощью электрического мотора. Этим он отличается от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В классическом автомобиле с ДВС в цилиндрах двигателя происходит сгорание топливно-воздушной смеси, и образующиеся при сгорании газы

толкают поршень, который вызывает вращательное движение коленчатого вала. Далее вращательный момент через коробку передач поступает на колеса. То есть, для того чтобы автомобиль двигался, ему необходимо топливо. Топливом являются, как правило, углеводороды (бензин, дизельное топливо, сжиженный газ, сжатый газ). При полном сгорании топлива в ДВС воздух загрязняется оксидами углерода, азота, двуокисью серы, бензолом и мелкодисперсными твердыми частицами [4].

Нами был проведен анонимный авторский опрос среди 55 пользователей электромобилей разных марок с возможностью выбрать несколько вариантов ответа. Электромобилисты отвечали на вопрос о том, какой фактор был решающим для них при выборе в качестве транспортного средства электромобиля. 58 % опрошенных отметили в качестве весомой причины более экономичный подход, 56 % испытывали любопытство к новым технологиям, 21 % респондентов сознательно выбирали снижение уровня шума, повышение комфорта, 20 % электромобилистов своим решением хотели повлиять на среду обитания («уйти» от запаха бензина и выхлопных газов).

У электромобиля источником энергии движения является не химическая энергия топлива, а электрическая, которую электрический мотор в большинстве случаев получает из аккумуляторной батареи. Поскольку никакого сгорания топлива в электромобиле не происходит, он не образует никаких выхлопных газов, а следовательно, не влияет на качество воздуха. Особенно это важно для крупных населенных пунктов, в которых традиционные автомобили являются главным источником загрязнения воздуха и грунта.

В автомобиле с ДВС образующиеся в цилиндрах двигателя газы выходят из двигателя со скоростью звуковой волны, и для того чтобы снизить издаваемый этими газами шум, в автомобилях применяют специальное устройство – глушитель. Тем не менее полностью устранить шум не удастся. При этом чем больше оборотов развивает двигатель, тем сильнее шум. Электрический мотор лишен такого недостатка по причине отсутствия выхлопных газов. Он издает незначительный шум только из-за трения в подшипниках двигателя. Изменение скорости вращения двигателя (количества оборотов) электромобиля практически не увеличивает уровень шума.

В ДВС поршень и стенки цилиндра должны постоянно смазываться маслом для снижения силы трения, которое со временем теряет свои смазывающие свойства, что приводит к необходимости регулярной его замены с определенной периодичностью (5–10 тысяч км). Отработанное масло требует утилизации. Часто оно сливается автовладельцами непосредственно в грунт, что приводит к загрязнению, для электромотора такая смазка не требуется.

В классическом автомобиле вращательный момент от двигателя передается на колеса через коробку передач, раздаточную коробку и т.д. В них также используется машинное трансмиссионное масло, требующее периодической замены. В электромобиле, например переднеприводном, коробка передач не требуется, и вращательный момент от мотора передается через редуктор сразу на колеса. Редуктор реже нуждается в замене масла и в меньшем его объеме или не нуждается совсем.

Противники электромобилей часто приводят аргумент, что использованные тяговые аккумуляторные батареи загрязняют окружающую среду. Стоит рассмотреть, как перерабатываются использованные аккумуляторы, и как данную задачу планируют решать активные пользователи электромобилей. Поэтому для автомобилистов, участвующих в опросе, был сформулирован вопрос о том, что они планируют делать с батареей электромобиля после того, как её остаточная емкость перестанет их устраивать. 47 % из них планируют продать батарею или отдать бесплатно, 31 % электромобилистов хотели бы использовать её в домашней или дачной системе хранения электроэнергии, 14 % – не определились с окончательным планом своих действий в данной ситуации, 6 % – планируют сдать на утилизацию в специальную организацию, 2 % опрошенных выбросят на свалку/мусорку.

Рассмотрим для примера возможности утилизации литий-ионного аккумулятора. Это наиболее распространенный тип аккумулятора в электромобилях, бытовой электронике (сотовых телефонах, фотоаппаратах, ноутбуках и т.д.). Как перерабатываются использованные аккумуляторы этого типа?

Согласно специализированному электронному ресурсу Battery university, литий-ионная тяговая батарея электромобиля BMW i3 емкостью 33 кВт·ч содержит 2 кг кобальта, 6 кг лития, 12 кг марганца, 12 кг никеля и 35 кг графита. Не все извлеченные материалы могут быть повторно использованы для производства

аккумуляторов, но могут быть использованы для менее требовательных к чистоте сырья целей. Литий также используется как смазочный материал [5]. Например, германская компания Duesenfeld GmbH имеет завод по утилизации батарей электромобилей. Процесс утилизации литий-ионных батарей начинается с полного разряда батареи, для того чтобы удалить запасенную энергию и предотвратить возможные взрывы, электролит также может быть заморожен для предотвращения электрохимических реакций в процессе разборки. Duesenfeld запатентовала процесс, при котором органические растворители в электролите выпариваются и восстанавливаются в вакууме путем конденсации. В этом процессе, по их словам, не образуются токсичные выхлопные газы. Дальнейшие шаги делятся на механическую, пирометаллургическую и гидрометаллургическую обработки. Механическая обработка заключается в разрушении батарейных ячеек, пирометаллургическая – извлекает металлы путем термического воздействия.

После разборки в процессе сортировки разделяются медная фольга, алюминиевая фольга, сепаратор и покрывающие материалы. Никель, кобальт и медь могут быть переработаны из слитка металла, но литий и алюминий остаются в шлаке. Гидрометаллургический процесс нужен для извлечения лития, он включает выщелачивание, экстракцию, кристаллизацию и осаждение из жидкого раствора.

Бельгийская компания Umicore просто расплавляет батареи в печах, для того чтобы восстановить 95 % кобальта, никеля и меди. После печи используется специальный процесс газовой промывки, чтобы очистить продукты сгорания от фторсодержащих выхлопных газов [4].

Для снижения рисков сгорания в процессе переработки мелкие переработчики сжигают литий-ионные батареи в специальных устройствах перед механической разборкой.

Таким образом, если понимать экологичность как качество объекта, отражающее его способность не наносить вреда окружающей природе, то снижение количества автомобилей на ДВС и увеличение доли электротранспорта оправданно с точки зрения снижения влияния на окружающую среду.

Список литературы

1. Реут А.А. Этапы формирования электромобилей в России и мире // Аллея науки. – 2021. – Т. 1, № 3 (54). – С. 223–230.
2. Пастухова Л.А., Шалабот Н.Е., Садыкова Ю.Р. Применение компетентностного подхода к оценке уровня развития экологической культуры у курсантов военного института // Кинологический вестник. Вып. 5. Ч. 1: Сборник науч. тр. – Пермь: Пермский военный институт внутренних войск МВД России, 2011. – С. 35–46.
3. Мошков В.Б. Предпосылки и тенденции развития электромобилей // Технология гражданской безопасности. – 2021. – Т. 18, № 2 (68). – С. 14–19.
4. Исаева Я.К. Влияние агрегатов и деталей электромобилей на экологию // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 5. – С. 250–252.
5. Battery university [Электронный ресурс]. – URL: <https://batteryuniversity.com/article/bu-705-how-to-recycle-batteries/> (дата обращения: 30.08.2021).

Об авторе

Лобанова Наталия Леонидовна – кандидат биологических наук, профессор кафедры биологии факультета (кинологического), Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, e-mail: nlb20mb@yandex.ru.

А.С. Мамедова, В.В. Шибанова, А.М. Ардуанова

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ТОРФА

В настоящее время торф и продукты на его основе находят широкое применение в сельском хозяйстве и агрохимии. В данном исследовании установлено, что для получения гуминовых препаратов целесообразно использовать образцы низинного торфа высокой степени разложения. Доказано, что полученный образец гуминового препарата по содержанию гуматов натрия сравним с промышленными образцами и может быть рекомендован для использования в сельском хозяйстве для улучшения структуры почвы и решения экологических проблем. Высокое содержание фульвокислот позволяет использовать его для получения препаратов на их основе.

Ключевые слова: торф, гуминовый препарат, гуминовые вещества, фульвовая кислота, гумусовые кислоты.

A.S. Mamedova, V.V. Shibanova, A.M. Arduanova

RESEARCH OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES HUMIC PREPARATIONS BASED ON PEAT

Currently, peat and products based on it are widely used in agriculture and agrochemistry. In this study, it was found that it is advisable to use samples of low-lying peat with a high degree of decomposition to obtain humic preparations. It has been proved that the obtained sample of the humic preparation is comparable with industrial samples in terms of the content of sodium humates and can be recommended for use in agriculture to improve soil structure and solve environmental problems. The high content of fulvic acids makes it possible to use it to obtain preparations based on them.

Keywords: peat, humic preparation, humic substances, fulvic acid, humic acids.

В настоящее время для решения целого ряда задач и проблем, в том числе экологических, широкое применение находят торф и продукты на его основе.

Торф является возобновляемым и непрерывно образующимся природным ресурсом, представляющим собой природное ископаемое с плотной структурой, которое является продуктом разложения микроорганизмов и растительности в условиях высокой влажности и недостатка кислорода. Основу торфа составляют остатки растений – торфообразователей – твердых высокомолекуляр-

ных соединений целлюлозной природы, продукты их распада и лигнин [12].

Химический состав торфа зависит от его типа, ботанического состава и степени разложения. И.И. Лиштван и Н.Т. Король установили содержание основных макроэлементов торфа: углерод – 48–65 % от органической массы (органическая часть торфа это сухое вещество без учета золы), кислород – 25–45 %, водород – 4,7–7 %, азот – 0,6–3,8 %, сера – до 1,2 %. Минеральная составляющая содержит соединения кальция, кремния, алюминия, железа. Также присутствуют микроэлементы: цинк – до 250 мг/кг, медь – 0,2–85 мг/кг, кобальт – 0,1–10 мг/кг, молибден – 0,1–10 мг/кг, марганец – 2–1000 мг/кг [8].

В состав торфа входят гуминовые соединения, которые представляют собой совокупность органических веществ почвы биогенного происхождения и подразделяются на гумусовые кислоты (гуминовые и фульвокислоты) и прогуминовые вещества – промежуточные соединения гуминоподобных веществ и гумины.

Гуминовые кислоты (ГК) нерастворимы в воде и растворяются в слабых щелочах, образуя гуматы натрия, кальция и др. Они являются мощными геохимическими агентами, способствующими трансформации экотоксикантов в почве. Фульвокислоты представляют собой смесь высокомолекулярных слабых органических алифатических и ароматических кислот, содержащих азотсодержащие группы [12, 13].

Гуминовые кислоты способны взаимодействовать с органическими соединениями и ионами тяжелых металлов. Физико-химические основы взаимодействия гуминовых кислот с органическими соединениями и тяжелыми металлами нефти включают одновременное протекание процессов ионного обмена, адсорбции, коагуляции и окклюзии [2, 3]. Гуминовые кислоты способны связывать ионы тяжелых металлов в малорастворимые комплексные соединения, а также поглощать их в процессе ионного обмена. При взаимодействии с нефтепродуктами и органическими токсикантами происходит гумификация последних.

Из-за уникального состава торфа в последние годы возрос интерес к разным аспектам его применения, в первую очередь, в растениеводстве, животноводстве, в охране природных сред от загрязнения и некоторых отраслях промышленности. В настоящее время его используют для получения гуминовых препаратов, удобрений, сорбентов, мелиорантов, биостимуляторов [4, 6, 7, 11].

Гуминовые препараты, такие как гуматы калия и гуматы натрия, получили широкое распространение в качестве стимуляторов роста растений, а также для детоксикации и обезвреживания нефтезагрязненных почв [9].

В работе Е.А. Денисюк, И.А. Кузнецова, Р.А. Митрофанова описан способ получения гуминовых веществ из торфа с использованием биохимических, микробиологических, электрогидравлических и ультразвуковых технологий. Ими предложен способ получения стимуляторов роста методом щелочного гидролиза торфа в присутствии окислителя, торфяного удобрения на основе биохимической активации торфа мочевиной в присутствии биокатализатора в мезофильном температурном режим [6].

Также А.А. Петраковым, В.В. Гурковым, О.П. Яковлевым описан способ приготовления гуминовых кислот и гуматов из торфа или бурого угля (патент РФ 2316227, A23K1/00, A23N17/00 от 21.04.2006 г.) путем кавитационного диспергирования сырья в водном растворе щелочей до полного выхода гуматов [10].

Также в последние годы во всем мире растет интерес к фульвовым кислотам, которые обладают широким спектром биологических свойств. Анализ публикаций показал, что фульвокислоты находят применение в медицине и ветеринарии, они обладают кардиопротекторными, антиоксидантными, противоопухолевыми, антибактериальными, противовирусными, противогрибковыми, антиаллергическими и противовоспалительными свойствами. Помимо этого они могут стимулировать активность обменных процессов и оказывать влияние на специфическую и неспецифическую резистентность организма. При этом данные литературы указывают на то, что фульвовые кислоты нетоксичны и не оказывают тератогенного, эмбриотоксического, мутагенного или канцерогенного воздействий [1].

Цель настоящей работы – получение на основе торфа гуминовых препаратов и исследование их физико-химических свойств.

Для получения гуминовых препаратов были взяты следующие образцы торфа с месторождения «Остёр» Смоленской области разной степени разложения и фракционного состава.

Были исследованы свойства образцов торфа по основным показателям: влагоемкость, насыпная плотность, рН водной вытяжки, влажность, содержание гумуса, плавучесть. Анализ проводился по стандартным методикам.

Из образцов были получены гуминовые препараты с обработкой торфа растворами щелочей, в качестве которых использовали растворы гидроксида калия и гидроксида натрия. Были исследованы свойства полученных образцов гуминовых препаратов по следующим показателям: pH водной вытяжки, плотность, влажность, зольность, массовая доля сухого и органического вещества, содержание гуминовых веществ и фульвовых кислот, содержание азота.

Результаты исследования физико-химических свойств образцов торфа представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Физико-химические свойства образцов торфа

Образец	Насыпная плотность, г/см ³	pH водной вытяжки, ед. pH	Влажность, %	Влагоёмкость, г/г	Содержание гумуса, %
Торф нейтрализованный	370–400	5,5–6,5	61,1	4,5	3,2
Торф верховой кислый	370–400	4,0–4,8	69,3	6,2	3,4
Низинный торф	420	4,0–4,5	45,6	6,0	26,7

Наибольшее содержание гуминовых веществ характерно для низинного торфа. Проведенный анализ результатов показал, что для получения гуминовых препаратов целесообразно использовать образцы низинного торфа высокой степени разложения. В ходе проведения исследований был получен образец гуминового препарата (ГП), приготовленного обработкой торфа раствором гидроксида натрия (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Результаты исследования физико-химических свойств гуминового препарата

Свойства	Показатели
Плотность г/см ³	1,13
pH водной вытяжки, ед. pH	9,5
Влажность, %	77,5
Зольность, %	41,3
Массовая доля органического вещества, %	58,7
Содержание гуматов натрия, %, в том числе	37,2
содержание фульвовых кислот, %	22,7
Азот, %	0,79

Полученный образец по содержанию гуматов натрия сравним с промышленными препаратами и может быть рекомендован для использования в сельском хозяйстве для улучшения структуры почвы и решения экологических проблем. Высокое содержание фульвокислот позволяет использовать его для получения препаратов на их основе.

Список литературы

1. Бендерский Н.С., Куделина О.М., Ганцгорн Е.В., Сафроненко А.В. Фульвовая кислота – биологически активная добавка или лекарство? Кубанский научный медицинский вестник. – 2020. – № 27 (3). – С. 78–91.
2. Вялых Е.А. Микробиологическая и термokatалитическая трансформация соединений нефти и растительных остатков в гумусовые вещества: дис. канд. хим. наук. – Казань, 2011.
3. Гречищева Н.Ю. Взаимодействие гумусовых кислот с полиядерными ароматическими углеводородами: химические и токсикологические аспекты: дис. канд. хим. наук. – М., 2000.
4. Грехова И.В. Гуминовый препарат из низинного торфа // Теоретическая и прикладная экология. – 2015. – № 1. – С. 87–90.
5. Дагуров А.В., Стом Д.И. О механизме действия гуматов на углеводороды нефти // Естественные науки. – 2008. – № 4 (25). – С. 15–18.
6. Денисюк Е.А., Митрофанов Р.А., Кузнецова И.А. Технология получения гуминовых веществ // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 2 (33). – С. 66–80.
7. Комплексный стимулятор роста растений на основе торфа и микроэлементов / А.В. Кравец, Л.В. Касимова, Е.В. Фролова, И.В. Кураш // Плодородие СибНИИСХиТ. – 2007. – № 5. – С. 32–33.
8. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. – Минск, 1975.
9. Наими О.И. Применение гуминовых препаратов в сельском хозяйстве // Аллея науки. – 2018. – № 10 (26). – С. 397–403.
10. Патент на способ приготовления жидких кормов и установка для его осуществления, 2006 / Патентообладатели Петраков А.А., Гурков В.В., Яковлев О.П.; авторы Петраков А.А., Гурков В.В., Яковлев О.П. – 2016. – С. 1–2.

11. Пятыхина М.В., Мингалеева Р.Р. Комплексное использование торфа на основании молекулярного состава его органической массы. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – № 5–6. – С. 3–13.

12. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.

13. Орлов Д.С. Почвенные фульвокислоты: история их изучения, значение и реальность // Почвоведение. – 1999. – № 9. – С. 1165–1171.

Об авторах

Мамедова Анна Сергеевна – студент магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: annamayak97@gmail.com.

Шибанова Виолетта – студент магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: vilusha2706@gmail.com.

Ардуанова Анна Михайловна – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: anna95mix@yandex.ru.

Е.Ю. Михайлова, М.С. Девяткова, Е.С. Белик

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В статье представлены данные о выбросах парниковых газов крупных химических предприятий. Систематизированы литературные сведения о способах утилизации углекислого газа в химической промышленности. Выявлены проблемы возврата углекислого газа в технологический цикл.

Ключевые слова: выбросы парниковых газов, химическая промышленность, утилизация углекислого газа, углеродный налог, ESG.

E.Yu. Mikhailova, M.S. Devyatкова, E.S. Belik

THE POSSIBILITIES OF USING CARBON DIOXIDE EMISSIONS IN CHEMICAL ENTERPRISES

The article presents data on emissions of some large chemical enterprises. The literature information on the methods of carbon dioxide utilization in the chemical industry is systematized. The problems of carbon dioxide return to the technological cycle are revealed.

Keywords: greenhouse gas emissions, chemical industry, carbon dioxide utilization, carbon tax, ESG.

Принятие Федерального закона № 296-ФЗ от 02.07.2021 г. «Об ограничении выбросов парниковых газов» обязует предприятия вести учет парниковых газов и реализовывать мероприятия по их снижению. Крупные промышленные предприятия с выбросами парниковых газов, эквивалентными 150 тыс. тонн CO₂-экв. в год и более, должны будут предоставлять ежегодную углеродную отчетность. С 2024 года требование ужесточится, и предприятия, выбрасывающие от 50 тыс. т. в год и более, также будут обязаны вести углеродный учет.

Внедряя организационно-технические мероприятия по сокращению выбросов парниковых газов, предприятия создают положительный имидж компании и улучшают репутацию на международном рынке. В связи с этим улавливание и дальнейшее использование парниковых газов, в первую очередь углекислого газа, является актуальной задачей углеродоемких предприятий.

На основании открытой отчетности и официальных данных сайтов предприятий химической промышленности ПАО «СИБУР-Холдинг», ПАО «Уралкалий» и АО ОКХ «Уралхим» представлены объемы выбросов парниковых газов, учитывающих сферы охватов предприятия 1 и 2 (рис. 1).

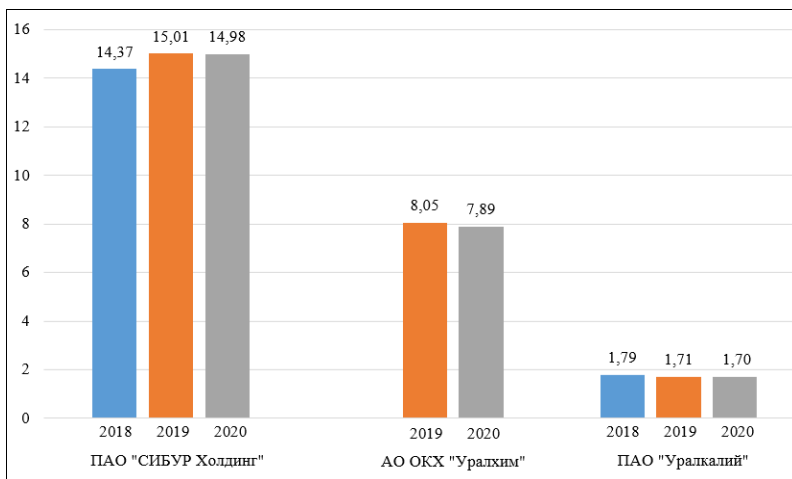


Рис. 1. Объем выбросов парниковых газов химических предприятий, учитывающих сферы охватов 1 и 2, млн CO₂ – экв.

Анализируя ESG-стратегии данных химических компаний, очевидно, что они уделяют огромное внимание целям устойчивого развития, одной из которых является «Борьба с изменением климата».

Согласно Международному ESG-рейтингу, составленному на основании отчетов компаний за 2020 год и представленному на сайте <https://raexpert.eu/>, ПАО «Уралкалий» занимает 12-е место, ПАО «СИБУР Холдинг» – 13-е место и АО ОКХ «Уралхим» – 121-е место. Баллы компаниям присваиваются по трем направлениям: Environmental – экология, Social – социальная политика и Governance – управление. В таблице указан ESG-рейтинг компаний на основании отчетов 2020 года.

При введении углекислого газа в технологический процесс, выделяя его, улавливая и используя в химических реакциях для получения продукта с высокой добавленной стоимостью, можно

снизить объемы выбросов парниковых газов и сократить затраты на производство. Поэтому предприятия стремятся реализовать принципы экономики замкнутого цикла, которые подразумевают как экологические, так и экономические выгоды.

ESG-рейтинг компаний на основании отчетов 2020 года

Компания	Environmental	Social	Governance	Рейтинг ESG
ПАО «Уралкалий»	16	6	16	12
ПАО «СИБУР Холдинг»	14	12	8	13
АО ОКХ «Уралхим»	134	114	116	121

На рис. 2 представлены способы утилизации углекислого газа в химической промышленности.

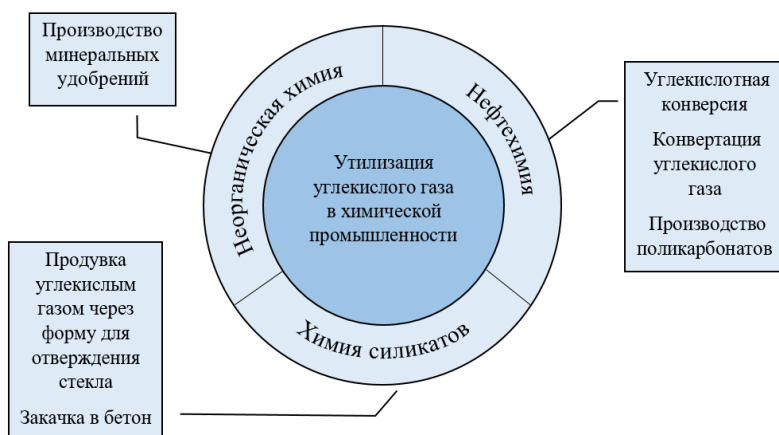


Рис. 2. Способы утилизации углекислого газа в химической промышленности [1, 2]

На предприятиях неорганической химии существует возможность преобразования углекислого газа катализатором в карбамид для получения азотных минеральных удобрений.

В нефтехимии используется несколько способов утилизации углекислого газа. Углекислотная конверсия позволяет получать из метана и углекислого газа особый синтез-газ, который используют для получения бутиловых спиртов. Конвертируется углекислый газ в метиловый спирт, который применяется для синтеза метил-трет-

бутилового эфира, выпуска формальдегида, уксусной кислоты. А также используется углекислый газ для производства поликарбонатов, которые применяют в строительстве.

В силикатной химии существует возможность утилизации углекислого газа путем его введения в бетонные блоки для увеличения прочности, а также продувки углекислым газом жидкого стекла через форму для его отверждения [1, 2].

Несмотря на большое количество возможностей утилизации углекислого газа, предприятия могут столкнуться с некоторыми сложностями. Например, использование антропогенного углекислого газа в химических реакциях может привести к снижению качества продукции. Кроме того, для того чтобы вернуть углекислый газ в технологический цикл, необходимо его извлечь из общего объема выбрасываемых газов и произвести очистку от других газов. Установка по извлечению и очистке углекислого газа, приобретенная по высокой цене, может оказаться малоэффективной. Также возникает сложность, связанная с накоплением и хранением уловленного углекислого газа, а именно – обустройство мест для расположения газовых резервуаров [3].

Для определения наиболее эффективного метода утилизации углекислого газа необходимо провести эколого-экономическое обоснование, учитывающее капитальные и эксплуатационные затраты на реализацию метода, срок его окупаемости, предотвращенный экологический ущерб и углеродный след продукции.

Список литературы

1. Илларионов И.Е., Петрова Н.В. Жидкостекольные смеси, отверждаемые продувкой углекислым газом // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2011. – № 2 (87). – С. 208.

2. Вакуров А.Е., Абросимов И.П. Описание и преимущества технологии производства бетона из диоксида углерода в строительстве // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4, № 8. – С. 148–153. DOI 10.5281/zenodo.1345202.

3. Ахметова В.Р., Смирнов О.В. Улавливание и хранение диоксида углерода – проблемы и перспективы // Башкирский химический журнал. – 2020. – Т. 27, № 3. – С. 103–115. DOI 10.17122/bcj-2020-3-103-115.

Об авторах

Михайлова Екатерина Юрьевна – студент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kungur937@gmail.com.

Девяткова Мария Сергеевна – студент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: mari.devyatkova@mail.ru.

Белик Екатерина Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: zhdanova-08@mail.ru.

А.Н. Московцева, А.Е. Жуланова, И.С. Глушанкова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕАКТИВА ФЕНТОНА В КАЧЕСТВЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛЕНА И ПРОПИЛЕНА

Сточные воды производства этилена и пропилена содержат высокотоксичные вещества, в том числе фенол. Выбор оптимального метода очистки сточных вод является важной составляющей производства. В статье рассмотрен способ очистки сточных вод доступным окислителем – реактивом Фентона (пероксид водорода, сульфат железа II)). Рассмотрены альтернативные варианты очистки сточных вод данного производства – озонирование, использование H_2O_2 , приведены преимущества и недостатки каждого из них. Достоинства метода с использованием реактива Фентона сводятся к отсутствию токсичных продуктов разложения, высокой энергоемкости, доступной стоимости, отсутствию потребности в УФ-излучении.

Ключевые слова: сточные воды, реактив Фентона, производство этилена и пропилена, окислительная деструкция.

A.N. Moskovtseva, A.E. Zhulanova, I.S. Glushankova

THE USE OF FENTON REAGENT AS AN OPTIMAL METHOD OF WASTEWATER TREATMENT FOR ETHYLENE AND PROPYLENE PRODUCTION

Waste water produced by ethylene and propylene contains highly toxic substances, including phenol. The choice of the optimal method of wastewater treatment is an important component of production. The article describes a method of wastewater treatment with an available oxidizer – Fenton reagent (hydrogen peroxide, iron II sulfate)). Alternative options for wastewater treatment of this production are considered – ozonation, the use of H_2O_2 , the advantages and disadvantages of each of them are given. The advantages of the method using Fenton reagent are reduced to the absence of toxic decomposition products, high energy intensity, affordable cost, and no need for UV radiation.

Keywords: wastewater, Fenton reagent, ethylene and propylene production, oxidative degradation.

При производстве этилена и пропилена в процессе пиролиза нефтяного сырья образуются сточные воды, содержащие углеводороды в растворенном, эмульгированном и взвешенном состояниях.

В сточных водах гидратации этилена присутствуют фенолы, ацетальдегид, продукты полимеризации, спирты, а также смола. Преобладают ароматические углеводороды, не поддающиеся достаточно полному окислению. При применении биологических методов очистки содержание органических веществ (бензола, толуола, ксилола, нафталина и др.), в том числе и смол, в сточных водах значительно снижается. Однако наличие взвешенных и эмульгированных высокомолекулярных углеводов – смол препятствует осуществлению процесса биологической очистки сточных вод [4].

Необходимость очистки сточных вод не вызывает сомнений. Сброс стоков без очистки опасен загрязнением водоемов, атмосферы, почвы. Однако выбор оптимального метода очистки зачастую затруднен. В связи с этим рассматривается метод очистки стоков с помощью фотокаталитической системы Фентона как один из наиболее эффективных вариантов.

Методы очистки сточных вод подразделяют на физико-химические (экстракция, абсорбция), химические (нейтрализация, озонирование, хлорирование), биологические (биологическое разложение, биохимическое окисление) и механические (отстаивание, фильтрование, центрифугирование). Кроме того, существуют комплексные методы очистки (механический и биологический и др.). На выбор метода очистки сточных вод производства этилена-пропилена влияют следующие факторы: стоимость, доступность (реализованность на данной территории), эффективность, масштабность, экологичность, легкость контроля, простота реализации [2]. Органические вещества из воды при производстве этилена-пропилена чаще всего подвергаются очистке при помощи трех основных методов: озонирования, использования перекиси водорода (H_2O_2), а также реакции Фентона. Реакция Фентона служит примером биологического фотокаталитического разложения органических загрязнений с использованием системы Фентона ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe} + h\nu$), в которой окислителем является пероксид водорода (H_2O_2), а катализатором – Fe^{2+} . При этом H_2O_2 дает реакционноспособные $\text{OH}^\cdot$ радикалы, а Fe^{2+} способствует увеличению скорости разложения H_2O_2 . На основании имеющихся в литературе сведений механизм данного процесса может быть представлен в виде следующей реакции: $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow (\text{UV}) \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^\cdot + \text{OH}^-$. Полученные в результате реакции Фентона ионы Fe^{3+} , осаждаются в виде гидроксида $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Установлено, что гидроксильные

радикалы, которые образуются в результате процесса обработки реактивом Фентона, являются очень сильными окислителями. Обладая высокой реакционной способностью, они легко окисляют при комнатной температуре многие, в том числе устойчивые органические вещества. При этом органические загрязнители удаляются как за счет прямого окисляющего воздействия радикалов $\text{OH}\cdot$, так и за счет коагуляции и соосаждения с $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ионы Fe^{2+} и Fe^{3+} одновременно являются коагулянтами, поэтому метод Фентона выполняет двойную функцию в процессе очистки, а именно – окисление и коагуляцию [1].

Основные преимущества использования реакции Фентона в качестве метода очистки сточных вод при производстве этилена-пропилена достигаются за счет отсутствия токсичных продуктов разложения, высокой энергоемкости, отсутствия потребности в УФ-излучении. Недостатки данного метода сводятся к необходимости обязательного контроля pH, а также возможному негативно-му влиянию на бактерии при последующей очистке за счет образующегося осадка [1, 6].

Рассмотрим альтернативные методы очистки сточных вод на изучаемом производстве. Первый часто используемый метод – озонирование. Этот давно зарекомендовавший себя метод не требует транспортировки и способствует улучшению биоразлагаемости веществ. Однако данный способ имеет немало недостатков: промежуточные продукты достаточно токсичны, скорость реакции низкая, требуется постоянная проверка качества, а производство требует большого количества энергии [5].

Еще один применяемый метод – использование перекиси водорода (H_2O_2). Реакция при этом выглядит следующим образом: $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow (\text{UV}) 2\text{OH}\cdot$. Метод также имеет свои преимущества и недостатки. К первым, безусловно, можно отнести низкую стоимость, высокую реакционную способность радикалов $\text{OH}\cdot$, малые потери действующего вещества и хорошую растворимость в воде. Ко вторым – недостаточность окислительного потенциала самой перекиси, опасность больших концентраций перекиси, трудности при использовании УФ-лампы (так как лучи плохо проходят через сточные воды), необходимость подбора оптимальной концентрации перекиси для каждого отдельного процесса [3].

Проведены предварительные исследования (таблица).

Показатель химического потребления кислорода (ХПК)
в исходной пробе – 10 000 мг/л

Соотношение реактива Фентона	Показатель ХПК через 60 мин	Показатель ХПК через 120 мин	Показатель ХПК через 360 мин	Показатель ХПК через 1440 мин
200 мл анализируемой пробы + 1 мл H_2O_2 + 0,125 г Fe^{2+}	2016 мг/л	720 мг/л	600 мг/л	300 мг/л
200 мл анализируемой пробы + 0,5 мл H_2O_2 + 0,125 г Fe^{2+}	1008 мг/л	720 мг/л	500 мг/л	800 мг/л
200 мл анализируемой пробы + 1 мл H_2O_2 + 0,075 г Fe^{2+}	864 мг/л	648 мг/л	300 мг/л	600 мг/л

Учитывая вышесказанное, высокая эффективность реакции Фентона с минимумом ограничений дает возможность использования реагента Фентона для очистки сточных вод при производстве этилена и пропилена, что становится важным для современных окислительных технологий.

Список литературы

1. Аминова А.Ф., Сухарева И.А., Мазитова А.К. Окислительная деструкция фенола реактивом Фентона // Вода и экология: проблемы и решения. – 2018. – Т. 76, № 4. – С. 3–8.
2. Вертинский А.П. Современные методы очистки сточных вод: особенности применения и проблематика // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 1. – С. 175–182.
3. Емжина В.В., Иванцова Н.А., Кручинина Н.Е. Озонирование активных фармацевтических субстанций в присутствии пероксида водорода // Вестник Технологического университета. – 2018. – Т. 21, № 4. – С. 81–85.
4. Лаврентьева Т.А., Ишмухамедов Р.Р. Перспективы развития процесса пиролиза углеводородного сырья // Символ науки. – 2021. – № 4. – С. 14–17.
5. Озонирование сточных вод предприятий деревообрабатывающей промышленности с применением гетерогенного катализатора с наносвойствами / А.К. Мазитова, И.А. Сухарева, А.Ф. Аминова [и др.] // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 394–404.

6. Oxidative Destruction of Organic Compounds by Fenton's Reagent in Industrial Wastewater Treatment / I.A. Vasilieva, L.K. Gustyleva, N.A. Samchenko [et al.] // Chemical Safety Science». – 2019. – Т. 2, № 3. – С. 183–193.

Об авторах

Московцева Анастасия Николаевна – магистр кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nastya_moskovtceva@mail.ru.

Жуланова Алёна Евгеньевна – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: 79194776224@yandex.ru.

Глушанкова Ирина Самуиловна – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: irina_chem@mail.ru.

С.М. Мырзина, К.В. Озерова, О.М. Зверев

СНЕГОВЛОКИ КАК СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ СНЕГА

Представлено запатентованное и изготовленное устройство для уплотнения снега. Отработана технология изготовления снеговлоков большой (до 540 кг/м^3) плотности и высокой прочности, достаточной для подъема краном и последующей транспортировки. С помощью устройства для уплотнения снега можно возводить сооружения высотой до 3 метров.

Ключевые слова: снег, уплотнение снега, утилизация снега, строительство из снега.

S.M. Myrzina, K.V. Ozerova, O.M. Zverev

SNOW BLOCKS AS A WAY TO DISPOSE OF SNOW

A patented and manufactured device for compacting snow is presented. The technology of manufacturing glass blocks of large (up to 540 kg/m^3) density and high strength, sufficient for lifting by crane and subsequent transportation, has been worked out. With the help of a device for compacting snow, it is possible to erect structures up to 3 meters high.

Keywords: snow, snow compaction, snow disposal, snow construction.

На данный момент наиболее распространены два способа уборки снега: безвывозной и вывозной [1]. Безвывозной способ не является экологичным и не решает главную задачу зимней уборки, а именно – беспрепятственность работы транспорта и безопасное движение людей. Второй способ заключается в вывозе снега на специально оборудованные полигоны, что не позволяет загрязнять окружающую среду [2]. Плотность снега, вывозимого автотранспортом, – от 250 до 350 кг/м^3 . КамАЗ-6520 (самосвал) грузоподъемностью 20 тонн имеет кузов объемом 20 м^3 , в него загрузить можно не более 7 тонн снега. Для повышения рациональности работы снегоуборочной техники есть смысл повысить плотность вывозимого снега. Цель работы – разработка, патентование, изготовление и испытание нового «устройства для уплотнения снега».

Запатентованное устройство для уплотнения снега [3] (решение о выдаче патента 16.02.2022 г.) содержит объемный корпус, образованный верхней 1, и боковыми стенками 2 и 3, две из кото-

рых 2 во время прессования остаются неподвижными, а параллельные стенки 3 выполнены подвижными за счет механического (винтового) привода уплотнительного механизма, состоящего из винтовых шпилек 4 с гайками (рис. 1). Стенки корпуса представляют собой основу из фанеры с пазами глубиной 3 мм, в которые вставлен нагревательный кабель. Кабели закрыты листом оцинкованной стали толщиной 0,4 мм. Суммарная мощность нагревательных кабелей 2 кВт. По своей сути, устройство – это подогреваемая опалубка с возможностью прессования снега.

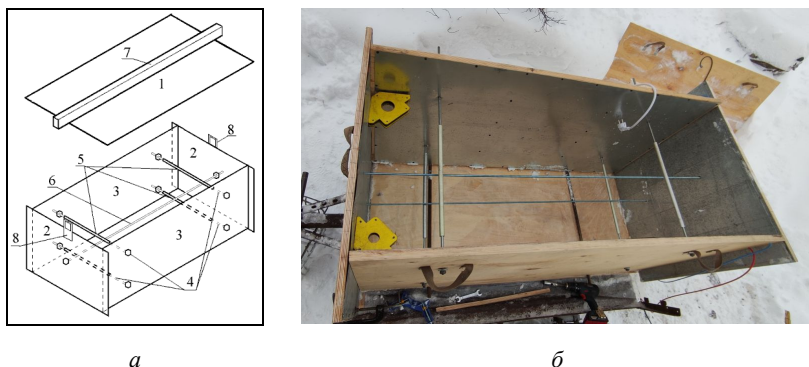


Рис. 1. Устройство для уплотнения снега:
а – фигура из патента; *б* – реальное устройство

По описанию в патенте [3], если снежок предназначен для транспортировки, то после его формирования выключается подогрев, снимается верхняя стенка 1 и балка 7 и за петли 8 производится погрузка блока, например кран-бортом, и только после этого производится окончательная разборка опалубки. После этого все операции повторяются.

Так как аренда кран-борта стоит денег, было решено снежки формировать на телеге мотоблока, перевозить в гараж (<https://youtu.be/eXOaMa2dgaY>) и осуществлять подъем кран-балкой. Первый блок прессовался при температуре на улице -5°C . Прессовали не торопясь, от 600 до 400 мм, примерно часа 3. Блок был оставлен в опалубке на ночь. На следующий день сняли верхнюю и торцовые неподвижные стенки. Внизу блока оказался лед от 30 до 50 мм. Загнали мотоблок под кран-балку. Зацепили за

нижние шпильки, подняли легко, снег не выпал, так как снизу лед. Со льда капала вода (<https://youtu.be/w8SmLvhn7AM>).

Из-за длительности прессования снеговблока следует вывод о нерациональности подъема за опалубку. Рациональнее и дешевле накопить изготовленные снеговблоки, чтобы погрузка не занимала много времени. Поэтому сняли подвижные стенки. В нижние ограничительные трубки вставили шпильки, и за них попробовали поднять. Блок немного подпрыгивал, но трубки разрезали блок (<https://youtu.be/b7ahcW9kAUA>).

Нижняя часть блока ледяная, т.е. заведомо более прочная. В тот же день 3.01.22 г. при $-5 \div -7$ °С сформировали блок № 2. Подвижные стенки поставили на два стальных прутка $\varnothing 14$ мм, положенных на пленку поперек стенкам. Прутки на расстояниях 30–33 см от неподвижных стенок, прутки торчат за края нижней фанеры, чтобы можно было зацепить стропы. Снег сыпали как попало, причем в основном кидали старый слежавшийся, в основном кусками. Не топтали, не трамбовали. Прессовали от 500 до 400 мм. Опалубку сняли на следующий день. Сзади (сзади телеги) в блоке обнаружена пустота (каверна).

Подъем блока № 2 проводили 9.01.2022 г. за прутки на высоту 15–20 см. Сзади отвалился кусок, как раз по каверне (<https://youtu.be/Vk-jwXs21o4>). По каверне (пустоте), а не по трещине, как говорит на видео один из испытателей. Но снеговблок получилось поднять без опалубки. От целого края снеговблока отрезали кусок массой 20,7 кг, обмеряли и получили плотность $\rho \approx 0,32 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Из этого куска нарезали кубики с ребром 100 мм. Плотность кубика из верхней части $0,30 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, из нижней, но не ледяной (150 мм от дна) плотность $0,34 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

К формированию блока № 3 отнеслись серьезнее. Собрали опалубку в кузове на 600 мм. На дно положили П-образный профиль 100×50 длиной 400 мм, чтобы внизу осталось отверстие под стропы. Забили снегом, трамбуя лыжной палкой и утаптывая. Толщину определяли по концам шпилек за опалубкой, как следствие, промахнулись с толщиной, и через 1,5 часа остановили прессование на 500 мм вместо 400. Опалубка была снята сразу после прессования. Краев профиля не увидели. Пришлось перфоратором, сверлом на $\varnothing 10$ просверлить отверстия в дне блока около фанеры, потом пройти $\varnothing 14$. 16.01.22 г. зацепили стропами за прутки и подняли (<https://youtu.be/>

FwRTBxmHJKU). Блок не развалился. Убрали фанеру, подложили доски поперек блока и опустили (<https://youtu.be/8F7sGnK4Wwk>). Теперь можно поднимать с помощью строп без прутков.

Отпилили задний край блока на 250 мм (по шпилькам). Кусок упал, повредив верх, который пришлось тоже отпилить. Осталось $605 \times 500 \times 250$ мм массой 31,3 кг. Плотность $\rho = m/V = 31,3 / (0,605 \times 0,5 \times 0,25) = 414 \text{ кг/м}^3 \approx 0,41 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Кусок разделили на 2 части, у нижней (со льдом) высотой 200 мм и массой 13,6 кг плотность $\rho = 13,6 / (0,2 \times 0,5 \times 0,25) \approx 0,54 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, у верхней $0,39 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Плотность третьего снегоблока оказалась заведомо больше, чем у предыдущего, видимо, за счет предварительной трамбовки.

Прежде чем приступить к формированию блока № 4, устройство было усовершенствовано – 4 шпильки $\varnothing 10$ мм заменили на 6 шпилек $\varnothing 12$ с удлиненными гайками 35 мм. При прессовании предыдущих блоков на двух шпильках сорвали резьбу. Внизу подвижных стенок были пропилены трапециевидные пазы под желоба-направляющие, высота паза 20 мм, основания – 50 и 40 мм. П-образный жестяной профиль 30×20 был разогнут до трапеции. Опалубку установили на желоба с расстоянием между подвижными стенками 500 мм. Загрузили снегом, трамбуя, и сформировали блок № 4. Сняли верхнюю и торцовые неподвижные стенки. Достали желоба и сняли подвижные стенки.

Снегоблок № 4 простоял на улице 18 дней. В пазы в снегоблоке легко вставились прутки $\varnothing 14$. Сначала осуществили подъем за прутки, потом стропами, просунутыми в пазы (рис. 2) (<https://youtu.be/TMGCo5Fyxns>).



Рис. 2. Подъем снегоблока на стропях



Рис. 3. Логотип ПНИПУ

Устройство для уплотнения снега, по своей сути, подогреваемая и прессующая опалубка. Половина авторов – студенты-строители, и им захотелось что-то построить с помощью этой опалубки. Построили логотип ПНИПУ (рис. 3) (<https://youtu.be/5wTgrI8QaOM>).

Устройство для уплотнения снега не только запатентовано, но и изготовлено и испытано. Задача создания предельно простого, дешевого, мобильного и удобного в эксплуатации устройства для уплотнения снега выполнена. Отработана технология изготовления снеговых блоков большой (до 540 кг/м^3) плотности и высокой прочностью, достаточной для подъема кран-бортom и последующей транспортировки. С помощью устройства для уплотнения снега можно возводить сооружения высотой до 3 метров.

Список литературы

1. Кулдошина В.В., Жогаль А.В., Лупунчук М.Ю. Современные подходы к решению проблем утилизации снега // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 5. – С. 79–84.
2. Строкин А.С., Чудайкин А.Д., Поляков Р.С. Экологические проблемы утилизации снега в городе // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2019. – № 2. – С. 56–60.
3. Устройство для уплотнения снега: заявка № 2021123272 Рос. Федерация: МПК E01H 4/00, E01H 6/00 / О.М. Зверев, А.В. Перминов; заявл. 02.08.2021.

Об авторах

Мырзина Софья Михайловна – студентка бакалавриата, гр. СТ-20-46, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: mirzina.sofi@yandex.ru.

Озерова Ксения Викторовна – студентка бакалавриата, гр. СТ-20-46, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ksenya-ozero2016@yandex.ru.

Зверев Олег Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Общая физика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ckko-smt2@pstu.ru.

В.К. Салахова, А.В. Елькин, К.Г. Пугин

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГИДРОДРЕНАЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В статье показано, что инженерно-мелиоративные сооружения, к которым относятся гидродренажные сооружения, могут формировать значительное негативное воздействие на объекты окружающей среды. Это обусловлено в первую очередь экологическими свойствами материала, из которого сооружается гидродренаж. Предложено для оценки геоэкологической устойчивости гидродренажных систем оценивать их по нескольким показателям. Предложенные показатели были определены после оценки жизненного цикла гидродренажных систем. Показано, что наименьшее негативное воздействие на геосферы имеет гидродренажная система из керамических материалов.

Ключевые слова: геоэкология, гидродренажные сооружения, керамика, жизненный цикл.

V.K. Salakhova, A.V. Elkin, K.G. Pugin

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF HYDRODRAINAGE FACILITIES

The article shows that engineering and reclamation structures, which include hydraulic drainage structures, can form a significant negative impact on environmental objects. This is due primarily to the environmental properties of the material from which the hydrodrainage is constructed. It is proposed to assess the geoecological stability of hydrodrainage systems by several indicators. The proposed indicators were determined after a life cycle assessment of hydrodrainage systems. It is shown that the hydrodrainage system made of ceramic materials has the least negative impact on the geosphere.

Keywords: geoecology, hydrodrainage structures, ceramics, life cycle.

В настоящее время идет освоение земель для нужд сельского хозяйства и строительства жилых и производственных зданий, в том числе и обводненных с устройством инженерно-мелиоративных сооружений. Для отвода воды от объектов строительства и сельского хозяйства широко используются подземные и наземные гидродренажные системы, которые представляют собой каналы, коллекторы, трубопроводы, водохранилища, плотины, дамбы, насосные станции, водозаборы, другие сооружения и устройства на мелиорированных землях, обеспечивающих создание оптимальных

водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв на мелиорированных землях. Занимая обширную территорию, гидродренажные системы, могут формировать техногенное воздействие на геосферные оболочки Земли выше приемлемого уровня. Это воздействие во многом определяется экологическими характеристиками материалов, использованных для сооружения системы. Широкое внедрение технологий утилизации отходов промышленного производства формирует риски возникновения вторичного загрязнения геосферных оболочек Земли химическими элементами, опасными для биоты [1–3]. В настоящее время большое распространение получают конструкции из пластиков, которые успешно замещают ранее использованные керамику, цементобетон и асбестобетон. В этой связи актуальным вопросом становится необходимость провести оценку геоэкологической безопасности использования таких материалов в условиях непосредственного длительного взаимодействия окружающей среды и материала.

Располагаясь в верхнем слое педосферы конструкции гидродренажных систем, формируют открытую природно-техногенную систему (ПТС) «педосфера-гидродренажная система». Для комплексной оценки негативного воздействия, формируемого на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ) ПТС, необходимо не только оценить отдельно взятые негативные воздействия, а также затрагивать и конечные стадии ЖЦ, включая санацию и ассимиляцию [4, 5].

Процессы, протекающие в ПТС «педосфера-гидродренажная система», нужно представить в качестве биореактора периодического действия. Окружающая среда оказывает воздействие на элементы гидродренажа, вызывая их деструкцию, и как следствие этого происходит формирование ответной реакции в виде изменения химического фона геосфер. Анализ этапов жизненного цикла должен включать анализ длительности его фаз, что позволит формулировать экологические требования к материалам, к инженерной защите, определять допустимые нагрузки на геосферные оболочки Земли.

Для конструктивных элементов гидродренажных систем ранее широко использовали такие материалы, как металл, асбестоцемент, цементобетон, керамика. В настоящее время их заменяют полимерными материалами – пластиками. Исследования отечественных и зарубежных ученых показывают, что долгосрочная эксплуатация полимерных материалов приводит к формированию механического

(микропластик) и химического (углерод, стирол, формальдегид, фенол, хлорпрен, уретан и т.д.) загрязнения окружающей среды. В настоящее время оценка геоэкологической устойчивости гидродренажных систем не захватывает весь их жизненный цикл, который должен включать в себя рассмотрение вопросов рекультивации земель после окончания периода эксплуатации грунтовых дренажей и воздействия, формируемые факторами малой интенсивности.

Оценку геоэкологической устойчивости материала для устройства гидродренажных систем необходимо давать с учетом времени эксплуатации. Это связано с тем, что использование пластиковых материалов в непродолжительном периоде эксплуатации (короткий срок прямого контакта окружающей среды и гидродренажной системы) не сформирует техногенное воздействие выше приемлемого уровня. В этих условиях не потребуются значительные усилия по санации территории размещения гидродренажной системы. Продолжительный период эксплуатации пластиковых материалов в составе гидродренажа позволит сформировать значительную по объему ПТС, которая потребует значительных ресурсов на рекультивацию и санацию после окончания срока эксплуатации.

Для оценки материалов, используемых для конструктивных элементов гидродренажных систем, была проведена экспертно-аналитическая оценка с участием 8 независимых специалистов в данной сфере. Экспертно-аналитическая оценка материалов, используемых для устройства гидродренажных систем, представлена в таблице. Наибольшая величина показателя соответствует наибольшей опасности, формируемой для окружающей среды.

Оценка материалов

Показатель	Индекс опасности материала гидродренажной системы				
	пластик	металл	цементобетон	асбестоцемент	керамика
Наличие в составе опасных химических соединений	3	1	2	5	1
Загрязнения педосферы	5	2	2	3	1
Загрязнения атмосферы	3	5	1	4	1
Загрязнения гидросферы	3	2	2	4	1
Необходимость санации педосферы после завершения ЖЦ	5	4	2	5	1

Окончание таблицы

Показатель	Индекс опасности материала гидродренажной системы				
	пластик	металл	цементобетон	асбестоцемент	керамика
Химическая стабильность на всем протяжении ЖЦ	2	3	3	3	1
Возможность ассимиляции ОС	5	3	2	5	1
Итоговый индекс опасности для геосфер	24	20	14	29	8

Экспертно-аналитическая оценка показала, что широко используемые в настоящее время пластиковые материалы формируют наибольший индекс опасности для геосферных оболочек Земли. Это обусловлено наличием в составе пластиков опасных химических соединений. Для создания пластиков с определенными свойствами в их состав добавляют различные компоненты (бисфенол А, фталаты и антипирены и др.), которые формируют появление канцерогенов при их разрушении и взаимодействии с окружающей средой. Указанные выше химические соединения формируют химическое загрязнение педосферы, атмосферы и гидросферы. После завершения жизненного цикла гидродренажной системы ее конструктивные элементы необходимо демонтировать. Их нельзя оставлять в почве и грунте ввиду продолжающейся деструкции пластиков и после окончания эксплуатации гидродренажной системы с образованием микропластика. Последнее заключение также требует проведения санации педосферы после завершения эксплуатации гидродренажной системы, так как накопление микропластика в почве приведет к нарушению среды обитания биоты. Для обеспечения геоэкологической устойчивости гидродренажных систем экологические свойства материала являются ключевым стейкхолдером. Применяемые для гидродренажных систем материалы (цементобетон, керамика) не формировали техногенное воздействие, которое изменяло столь значительно такую среду обитания биоты, как пластик. В настоящее время весь механизм трансформации среды обитания под воздействием пластиков не установлен, что формирует повышенные риски применения пластиков. Керамика, как показала экспертная оценка, наиболее биопозитивный материал на всем протяжении ЖЦ гидродренажных систем.

Список литературы

1. Пугина В.К., Пугин К.Г. Геоэкологическая оценка использования полимерных отходов в производстве различных строительных материалов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2021. – № 1. – С. 63–69.
2. Пугин К.Г., Пугина В.К. Использование отходов в структуре органоминеральных композитов, применяемых для строительства автомобильных дорог // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2021. – № 2. – С. 38–46.
3. Пугин К.Г., Юшков В.С. Использование вторичных материалов для цементобетонных покрытий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 1. – С. 144–151.
4. Власов А.С., Пугин К.Г. Обеспечение геоэкологической устойчивости сельскохозяйственных земель при добыче нефти // Инженерное обеспечение в реализации социально-экономических и экологических программ АПК. материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Курган, 2021. – С. 192–195.
5. Пугин К.Г., Салахова В.К., Елькин А.В. Оценка и обеспечение геоэкологической устойчивости гидродренажных систем // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2021. – № 4. – С. 21–28.

Об авторах

Салахова Вероника Константиновна – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: veronika815@inbox.ru.

Елькин Александр Васильевич – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alexandr.elkin.96@mail.ru.

Пугин Константин Георгиевич – доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова; профессор кафедры специальностей водного транспорта и управления на транспорте, Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, e-mail: 123zzz@rambler.ru.

А.А. Перминова, Л.В. Рудакова

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ СОЛЕОТВАЛОВ НА КАЛИЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Дана оценка негативного воздействия горно-обогатительных процессов калийных предприятий на окружающую среду. Приведен отечественный и зарубежный опыт решения проблемы обращения с твердыми галитовыми отходами после обогащения руды. Представлены способы рекультивации солеотвалов в России и за рубежом.

Ключевые слова: солеотвал, галитовые отходы, рекультивация, нарушение биогеохимических процессов.

A.A. Perminova, L.V. Rudakova

RECUITIVATION OF POTASSIUM ENTERPRISES' SALT DUMPS

The adverse environmental impact of potash mining and processing is assessed. The domestic and international experience in resolving the problem of post-beneficiation handling of solid halite waste is presented. Methods of salt dumps recultivation in Russia and abroad are considered.

Keywords: salt dump, halite waste, recultivation of salt dumps, disruption of biogeochemical processes.

Мировые запасы калийных солей (более 80 %) и производство калийных удобрений (около 70 %) приходится на 3 страны: Канада (Саскачеванский соленосный бассейн), Российская Федерация (Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей), Республика Беларусь (Старобинское месторождение калийных солей). К крупнейшим месторождениям также относятся Верхнерейнский соленосный бассейн на территории Германии и месторождения Эльзаса на северо-востоке Франции.

Деятельность калийных предприятий и высокие темпы производства калийных удобрений создают ряд проблем, обусловленных необходимостью минимизации негативного воздействия на окружающую среду образующимися в технологическом процессе отходами. На разрабатываемых месторождениях калийных солей отходы производства достигают 70 % от добытой породы. В процессе обогащения образуется значительное количество твердых галитовых отходов (таблица, рисунок, а), содержащих 92–95 %

хлористого натрия, и жидких шламовых отходов (см. таблицу, рисунок, б), представляющих собой смесь растворимых (хлориды натрия и калия) и нерастворимых компонентов [0].

Количество накопленных на калийных предприятиях отходов

Вид отходов	Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (Российская Федерация)	Старобинское месторождение калийных солей (Республика Беларусь)	Месторождения Германии	Месторождения Франции
Твердые галитовые отходы	более 270 млн т	более 950 млн т	168 млн м ³	7 млн т
Жидкие глинисто-солевые шламы	более 30 млн м ³	110 млн т	Нет данных	Нет данных



а



б

Рис. Отходы калийных предприятий после обогащательных процессов:
а – солеотвал, б – шламохранилище

Обычно солеотвалы представляют собой насыпи высотой 100–130 метров, располагающиеся на расстоянии 400–500 метров от горно-обогатительной фабрики. Содержание хлористого натрия в твердых галитовых отходах составляет 95 %, минералогический состав представлен в основном галитом (до 84 %), доломитом (в среднем 12 %) и гипсом (около 4 %). Значительные углы наклона склонов солеотвалов и активное растворение солей вызывают миграционные процессы основных поллютантов в депонирующие среды, а также процессы эрозии на поверхности солеотвала. Ре-

зультатом эрозионных процессов могут быть обрушения карстующихся пород, которые часто становятся источниками экологической опасности. Чем дальше отходы находятся в «теле» солеотвала, тем ярче проявляются данные процессы.

Складирование галитовых отходов и глинисто-солевых шламов на земной поверхности приводит к изменению рельефа, нарушению биогеохимических процессов в почвенном и растительном покрове, изменению химического состава поверхностных и подземных вод вследствие миграции химически активных элементов с отвалов и шламонакопителей [0].

Деятельность российских калийных компаний, согласно государственному стандарту (ГОСТ Р 55100-2012) в области энерго- и ресурсосбережения, основывается на том, что наилучшим способом обращения с отходами в горнодобывающей отрасли, с учетом доступности технологии, является проведение закладочных работ крупнотоннажных отходов калийной промышленности. В настоящее время разрабатывается проектная документация по внедрению данного способа обращения с отходами. Такие мероприятия могут стать одной из стадий технической рекультивации и смогут обеспечить снижение затрат на транспортировку отходов, платежей за ущерб и платежей за негативное воздействие на окружающую среду. Эффективность данного способа заключается в обеспечении экологической безопасности для всех компонентов окружающей среды [0].

Зарубежный опыт рекультивации солеотвалов свидетельствует о сложности и многоступенчатости природоохранных и природозащитных мероприятий, включающих комплекс технических и технологических решений. На первом этапе технической рекультивации осуществляют процессы изоляции отходов от выщелачивания и подготовительные земляные и конструкционные работы; на втором этапе – биологическом (этап биорекультивации) – осуществляют восстановительные процессы с помощью формирования на солеотвале почвенно-растительного покрова.

На территории Германии и Франции, в соответствии с принятой экологической политикой, разработаны и реализуются два метода рекультивации солеотвалов. Первый метод состоит в изменении формы солеотвала (срез части) и покрытии его поверхности слоем из глины и битума для изоляции отходов от действия атмосферных осадков [0]. На поверхности изоляционного слоя форми-

руется почвенный покров и высаживается древесная и травянистая растительность для закрепления грунта. Второй метод направлен на естественное или стимулированное растворение химических соединений, содержащихся в отходах, с последующим сбором дренажных стоков в очистительные скважины, после которых сточные воды контролируемо сбрасываются в притоки р. Рейн [0]. Для уменьшения зоны распространения засоленных подземных вод организована сеть насосных станций ниже солеотвалов по направлению движения подземных вод. На поверхности засоленные подземные воды разбавляются более пресными техническими водами.

В Германии отработан один из способов рекультивации солеотвала. Необходимость внедрения способа обусловлена примыканием солеотвала к сельскохозяйственным землям, что в дальнейшем может порождать негативные процессы в почвенно-растительном слое. На техническом этапе рекультивации его поверхность террасируется, склоны выполаживаются с помощью грунта и строительного мусора. Биологический этап осуществляется с помощью покрытия сформированного технического пласта почвенно-растительным слоем. Для снижения фильтрации атмосферных осадков через «тело» солеотвала и увеличения испарения создается растительный пояс, состоящий преимущественно из древесной растительности, обладающей наибольшей скоростью транспирации. В настоящее время в Германии для рекультивации 6 солеотвалов был использован комплексный подход, включающий технический и биологический этапы.

Рассматриваемые способы рекультивации могут быть использованы на всех калийных предприятиях с учетом различных природных условий. Такие мероприятия приведут к уменьшению объемов образующихся отходов и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

На территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей активно наращивается производство калийных удобрений, что приводит к увеличению объемов солеотходов. Анализ методов рекультивации, применяемых в зарубежной практике, и оценка влияния солеотходов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей на окружающую среду [2] свидетельствуют о том, что первоочередной задачей является снижение фильтрации образующихся высокоминерализованных стоков в местах складирования отходов. Это может быть достигнуто созданием за-

щитного, противofильтрационного экрана, состоящего из нескольких слоев (местная глина и другие конструкционные материалы), который обеспечит изоляцию отходов от атмосферных осадков. Кроме того, на поверхности солеотвала необходимо провести техническую рекультивацию – террасирование тела солеотвала и выравнивание склонов с помощью строительных отходов для более устойчивой конструкции и предотвращения эрозионных процессов пористой части отвала. Использование строительных отходов, накопленных в ближайших населенных пунктах, обеспечит приемлемые для рекультивационных мероприятий уклоны. Выровненная поверхность будет являться буфером при миграции солей под воздействием атмосферных осадков. Этап биорекультивации должен стать важнейшим для улучшения состояния природной среды в районах воздействия отходов калийных предприятий. Основными требованиями к почвенно-растительному покрову являются: обеспечение плодородных функций, выполнение опорной функции для растений, значительная фитопродуктивность, интенсивное поглощение растениями влаги, устойчивое функционирование растений в неблагоприятных условиях среды. На всех этапах проведения рекультивационных мероприятий необходимо учитывать региональные климатические, гидрологические и почвенно-геоботанические условия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, проект № 2019-0858.

Список литературы

1. Муравейко В., Мукина К.М. Анализ охраны окружающей среды на ОАО «Беларуськалий» // Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века: материалы 17-й Междунар. науч. конф., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч. – Минск: Изд-во Междунар. гос. экол. ин-т им. А.Д. Сахарова Бел. гос. ун-та, 2017. – С. 162–163.
2. Хайрулина Е.А. Воздействие фильтративных вод шламохранилища с соледержащими отходами на поверхностные и подземные воды // Географический вестник = Geographical bulletin. – 2018. – № 2 (45). – С. 145–155.

3. Блинов С.М., Меньшикова Е.А. Использование отходов предприятий Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. Геоэкология (науки о земле). – 2019. – Т. 18, № 2. – С. 179–191.

4. Giovanetti R.A Long term plan for the processing of the waste piles in French potash mines // Mine Planning and Equipment Selection. – 1998. – P. 673–676.

5. Isotopic and hydrochemical studies of groundwater flow and salinity in the southern Rhine Graden / M. Baure, L. Eichinger, P. Elsass [et al.] // Int J. Earth Sci. – 2005. – Vol. 94. – P. 565–579.

Об авторах

Перминова Анна Александровна – студент магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: annaperminova98@yandex.ru.

Рудакова Лариса Васильевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: larisa@eco.pstu.ac.ru.

Е.А. Пичугин, Е.В. Зырянова

**К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО
СПРАВОЧНИКА ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ
(ИТС НДТ) «ЛИКВИДАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕДА»**

Разработка классификатора типовых технологических решений и справочника НДТ, применяемых для ликвидации однотипных объектов накопленного вреда окружающей среде, позволит более эффективно осуществлять мероприятия по ликвидации объектов и восстановлению компонентов природной среды.

Ключевые слова: наилучшие доступные технологии, классификация, объекты накопленного вреда, окружающая среда.

E.A. Pichugin, E.V. Zyryanova

**ON THE ISSUE OF THE FORMATION OF AN INFORMATION
AND TECHNICAL REFERENCE BOOK ON THE BEST AVAILABLE
TECHNOLOGIES (ITS BAT) «LIQUIDATION OF OBJECTS
OF ACCUMULATED ENVIRONMENTAL DAMAGE»**

The development of a classifier of standard technological solutions and a reference book of BAT used to eliminate the same type of objects of accumulated environmental damage will allow more efficient implementation of measures to eliminate objects and restore components of the natural environment.

Keywords: best available technologies, classification, objects of accumulated harm, environment.

В рамках достижения целей, показателей и результатов федерального проекта «Чистая страна», входящего в состав национального проекта «Экология» (Приложение № 6 к государственной программе Российской Федерации «Охрана окружающей среды», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации № 326 от 15.04.2014 г. [1]), по состоянию на 2021 год ликвидировано 135 объектов накопленного вреда окружающей среде (далее – объекты НВОС).

Предварительный анализ рабочих проектов по ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде показал, что в настоящее время на однотипных объектах накопленного вреда (полигоны, свалки) применяются технологические решения по ликвидации и мероприятия по восстановлению компонентов природной среды, стоимость на реализацию которых может отличаться в 10 раз и более.

Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2674-р от 24.12.2014 г. [2] ликвидация накопленного вреда окружающей среде включена в перечень областей применения наилучших доступных технологий.

С 1 января 2017 г. внесены изменения в Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. «Об охране окружающей среды» [3], которые направлены на закрепление норм и полномочий, в совокупности формирующие общий порядок ликвидации накопленного вреда окружающей среде (выявление, оценка, категорирование, ведение государственного реестра объектов накопленного вреда, организация работ по ликвидации).

По состоянию на 28.01.2022 г. в государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде включено 422 объекта.

Анализ государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей среде показал, что основное количество выявленных объектов накопленного вреда располагается в 31 субъекте Российской Федерации. При этом в 10 субъектах Российской Федерации выявлено более 10 объектов накопленного вреда окружающей среде. В Пермском крае, Московской области и Чеченской Республике выявлено более 20 объектов накопленного вреда. Распределение выявленных и включенных в государственный реестр объектов накопленного вреда по субъектам Российской Федерации представлено на рис. 1.

На основе данных государственного реестра объектов накопленного вреда составлена классификация объектов НВОС с ранжированием по количеству (рис. 2).

К объектам, образованным в результате деятельности горнодобывающей и обогащающей промышленности, относятся: отвалы пород, шламохранилища, хвостохранилища, отработанные участки угольных месторождений.

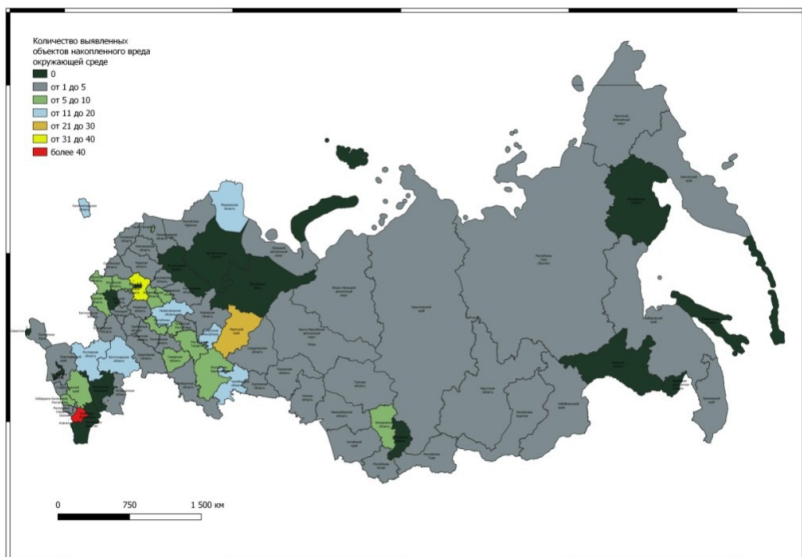


Рис. 1. Распределение объектов НВОС по субъектам Российской Федерации

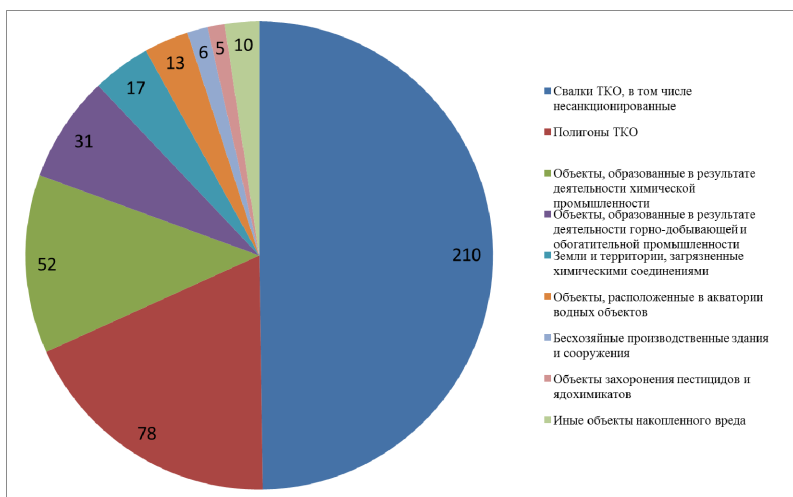


Рис. 2. Ранжирование объектов НВОС по количеству

К объектам, образованным в результате деятельности химического производства, относятся: объекты размещения промышленных отходов, пруды-накопители, шламонакопители.

К объектам, расположенным в акватории водных объектов, относятся: загрязненные участки акваторий, затонувшие суда, инженерные сооружения разной степени сложности, используемые для транспортировки жидких и газообразных веществ.

К иным объектам накопленного вреда относятся: объекты, образованные в результате деятельности топливно-энергетического комплекса (золоотвал, шлакоотвал); объекты размещения и обезвреживания отходов при сборе и обработке сточных вод, вод систем оборотного водоснабжения (иловые поля, карты БОС); объекты, образованные в результате деятельности ЦБК (короотвал); объекты уничтожения химического оружия, помехохранилища.

Установлено, что около 88 % всех выявленных объектов приходится на свалки и полигоны ТКО (68,3 %) и объекты, образованные в результате деятельности горно-добывающей, обогащательной (12,3 %) и химической (7,3 %) промышленности.

Проведённый анализ документации ликвидированных объектов показал, что основными технологическими решениями (способами, методами), направленными на ликвидацию объектов накопленного вреда, являются устройство защитных и противофильтрационных экранов из различных материалов, устройство сбора, отвода и очистки фильтрата и обезвреживания свалочного газа, строительство очистных сооружений, обезвреживание отходов методами термо- и биодеструкции, термическая утилизация промышленных отходов, эскавация и детоксикация загрязненных почвогрунтов и др.

Также встречаются и специфические технические решения по ликвидации объектов и вреда окружающей среде: строительство сооружений для очистки шахтных вод с применением геохимического карбонатного барьера, строительство противоналедных сооружений, организация русла и восстановление русловодоотводного канала, строительство берегоукрепляющих и селенаправляющих сооружений и др.

В настоящее время сотрудниками ФГБУ УралНИИ «Экология» по заказу Минприроды России в рамках выполнения научно-исследовательской работы по Государственному заданию на 2022 год проводятся работы, направленные на разработку классифи-

катора типовых технологических решений, применяемых для ликвидации однотипных объектов накопленного вреда окружающей среде, а также проекта информационно-технического справочника наилучших доступных технологий «Ликвидация объектов накопленного экологического вреда».

Список литературы

1. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации № 326 от 15.04.2014 г. (ред. от 29.12.2021) // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Об утверждении Перечня областей применения наилучших доступных технологий [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации № 2674-р от 24.12.2014 г. (ред. от 01.11.2021) // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. (с изменениями на 30.12.2021) // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

Об авторах

Пичугин Евгений Александрович – кандидат технических наук, и.о. начальника отдела проблем охраны окружающей среды, Федеральное государственное бюджетное учреждение Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем (ФГБУ УралНИИ «Экология»), e-mail: pich@ecologyperm.ru.

Зырянова Елена Викторовна – научный сотрудник отдела проблем охраны окружающей среды, Федеральное государственное бюджетное учреждение Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем (ФГБУ УралНИИ «Экология»), e-mail: zygianova@ecologyperm.ru.

Т.А. Попова, Г.С. Арзамасова

КОНЦЕПЦИЯ «ЗЕЛЕНОГО» МАРКЕТИНГА

В статье рассматриваются основные характеристики, структура концепции «зелёного» маркетинга и ее применения с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду и продвижения экологически безопасной продукции. На основе теоретического обзора была дана характеристика основных компонентов стратегии «зеленого маркетинга».

Ключевые слова: «зеленый» маркетинг, «гринвошинг», стратегия «зеленого маркетинга», экологически чистая продукция.

T.A. Popova, G.S. Arzamasova

THE CONCEPT OF «GREEN» MARKETING

The article deals with the main characteristics, the structure of the concept of «green» marketing and its application in order to reduce the negative impact on the environment and promote environmentally friendly products. On the basis of a theoretical review the characteristics of the main components of the strategy of «green marketing» were given.

Keywords: green marketing, greenwashing, green marketing strategy, green products.

Проблемы охраны окружающей среды и экологически безопасного производства являются одним из важнейших стратегических аспектов развития современного бизнеса, его конкурентоспособности и успешности. Производители находятся в поиске новых подходов и инструментов реализации экологических стратегий, где природоохранные технологии наравне с методами маркетинга позволяют достигать высоких экологических результатов. Одним из таких инструментов является внедрение и реализация стратегий «зеленого маркетинга». Это обусловлено возрастающим спросом потребителей на продукцию, наносящую минимальный вред окружающей среде. Все больше потребителей обращают внимание на экологические характеристики товаров и выражают готовность приобретать продукцию, которая не только является безопасной для здоровья, но и не вносит существенный вклад в воздействие на окружающую среду на всех стадиях жизненного цикла [5]. Так, по данным SBS Consulting, на рынке продовольственных товаров

спрос на экологически чистую продукцию в два раза превышает темпы роста рынка в целом. В России спрос растет на 23 % в год быстрее общемирового, при этом на долю такой продукции приходится только 0,1 % всего продовольственного рынка¹.

Под «зеленым» маркетингом (green marketing) понимают «все виды маркетинговой деятельности, которые способствуют возникновению экологических проблем и могут служить для их решения» и затрагивают все стадии бизнеса, от упаковки до связей с общественностью [3, стр. 112, 4]. По мере развития концепции «зеленый маркетинг» трансформировался до маркетинговой «философии» управления бизнесом. Сегодня под «зеленым» маркетингом понимают процесс планирования, реализации и контроля разработки, ценообразования, продвижения и распределения продукции таким образом, чтобы она соответствовала трем критериям: удовлетворению потребности потребителей, достижению целей организации, безопасности для окружающей среды [1]. Успешность в разработке и продвижении экологически чистой продукции зависит в первую очередь от четко выстроенной стратегии «зеленого маркетинга». Основные элементы стратегии и инструменты ее реализации представлены в таблице.

Анализ «зеленого» маркетинга

Элемент	Характеристика	Реализация
<i>Стратегия «зеленого» маркетинга</i>		
Позиционирование	Основано на позиционировании экологических преимуществ продукции, влиянии на окружающую среду, возможности утилизации и вторичного использования	Наиболее сильный эффект достигается при сочетании двух типов позиционирования. Функциональное – основанное на экологических преимуществах. Эмоциональное – основанное на чувствах и эмоциях людей через потребление «зеленой» продукции
Дифференциация	Основано на дифференциации и конкурентном преимуществе продукта перед другими брендами	Аспекты дифференциации продуктов: надежность, соответствие ожиданиям и заявлениям; срок службы и износ; легкость и удобство; внешний вид; репутация бренда; перерабатываемость

¹ Источник: Отчет «Перспективы развития органического сельского хозяйства в России» SBS-consulting [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sbs-consulting.ru/upload/iblock/c6e/c6ef149756246940a3c6992984e25c4e.pdf> (дата посещения: 19.03.2022).

Окончание таблицы

Элемент	Характеристика	Реализация
Сегментация	Выделение групп потребителей по их целям при покупке «зеленого» продукта	Демографические; личностно-ценностные; поведенческие. Также выделяют группы по их вовлеченности в экологию
Таргетинг	Реклама и продвижение «зеленой» продукции потребителем	Смена ориентации: от «зеленая» продукция для «зеленого» потребителя до расширения круга целевых потребителей включением «зеленых» свойств в обычные продукты
<i>Инструменты реализации стратегии</i>		
Производство продукта	Экологически чистые свойства продукции должны быть продемонстрированы на всем жизненном цикле продукта	Нужно показать: перерабатываемость, повторное использование, безопасную транспортировку. «Зеленая» упаковка является ключевым элементом «зеленого» продукта, необходимо показать ее сокращение и безопасность
Ценообразование продукта	Установление цен на экологически чистые продукты, которые компенсируют чувствительность потребителей к цене и их готовность платить	Потребители будут готовы платить больше до «этической критической точки», за которой жертвы будут несоизмеримы с выгодами. Компаниям необходимо объяснить выгоды и преимущества продукта, чтобы сгладить восприятие разницы в цене
Продвижение продукта	Успешная «зеленая» стратегия зависит от хорошей коммуникации, поскольку очень важно просвещать и информировать потребителей	Четкое и лаконичное представление характеристик «зеленых» продуктов. Эко-маркировка один из главных идентификаторов «зеленых» продуктов. Общие и вводящие в заблуждения утверждения могут привести к «green washing»
Распределение продукта	«Зеленое» распределение относится к тактике управления, от производства до потребления, и обратной логистикой	Замкнутый цикл распределения продукции сокращает расходы и улучшает обслуживание. Обратная логистика может привести к экономии затрат, времени, увеличению доходов. Интернет играет ключевую роль в экологичной дистрибуции

Источник: составлено по [1]; [3]; [5].

Интерес к экологически чистым продуктам растет, подтверждая, что экологическая безопасность является не мимолетной тенденцией, а ключевым вопросом при проектировании, разработке и маркетинге новых продуктов. Некоторые вопросы кажутся актуальными более чем для одного элемента маркетинга. Например, упаковка играет ключевую роль в снижении воздействия на окружающую среду как экологически чистых продуктов, так и логистики [4].

Зачастую производители используют экологическое позиционирование товара как ключевой элемент стратегии «зеленого» маркетинга, применяя маркировки «эко», «био» или «натуральный продукт». При этом такие производители не вносят существенные изменения в действительные экологические характеристики продукции и, по сути, вводят в заблуждение покупателей относительно безопасности продукции. Такое поведение производителей получило название «greenwashing» [2].

Но стоит отметить, что все больше компаний стараются избегать подобных подходов. Существует множество примеров применения стратегий «зеленого маркетинга». Так, например, компания IKEA использует множество тактик и источников для управления отходами и возобновления энергии. Девяносто процентов ее зданий имеют солнечные батареи, используются ветряные электростанции, посажены миллионы деревьев, при этом только 15 % отходов отправляется на свалки. Компания Starbucks свою стратегию выстраивает на основе трех аспектов: источники сырья и упаковки; способы транспортировки; дизайн торговых точек, потребление электроэнергии и воды, переработка и утилизация отходов. Российское подразделение корпорации Mars в рамках стратегии «Устойчивость через поколение» уменьшает негативное воздействие на всех этапах: от производства сырья до минимизации негативного воздействия отходов, образуемых у потребителей. СБЕР активно развивается в ESG-направлении (ESG – экологическое, социальное и корпоративное управление. Совокупность характеристик управления, при которой достигается вовлечение компании в решение экологических, социальных и управленческих проблем). X5 Group член глобального договора в области устойчивого развития, придерживается целей программы ООН в области устойчивого развития.

Внедрение «зелёного» маркетинга в компании позволит повысить экологическую безопасность окружающей среды и здоровья

потребителей, лояльность и конкурентоспособность. Необходимо развивать экологическое сознание у поставщиков, партнёров, посредников, покупателей и сотрудников. Важно подтверждать свою экологичность, чтобы иметь возможность работать с такими же «зелёными» партнёрами и извлекать из этого выгоду.

Список литературы

1. Dangelico R.M., Vocalelli D. «Green Marketing»: An analysis of definitions, strategy steps, and tools through a systematic review of the literature // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – Vol. 165. – P. 1263–1279. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.184.

2. Delmas M.A., Burbano V.C. The drivers of greenwashing // *California Management Review*. – 2011. – Vol. 54, № 1. – P. 64–87. ISSN 0008-1256, eISSN 2162-8564.

3. Peattie K. Towards sustainability: the third age of green marketing // *Marketing Review*. – 2001. – Vol. 2. – P. 110–150. DOI: 10.1362/1469347012569869.

4. Зайцева Д.С., Краковецкая И.В. Экологический маркетинг: тенденции и перспективы // *Вестник Кемеровского государственного университета*. Серия: Политические, социологические и экономические науки. – 2016. – № 2. – С. 55–60.

5. Зинцова М.В., Зюлина П.В. Экологизация как конкурентное преимущество при выходе компании на внешний рынок // *Российский внешнеэкономический вестник*. – 2020. – № 8. – С. 47–61. DOI: 10.24411/2072-8042-2021-8-47-61.

Об авторах

Попова Татьяна Александровна – студент бакалавриата кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: tanshik2906@mail.ru.

Арзамасова Галина Сергеевна – старший преподаватель кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: arzamasova_g@mail.ru.

П.М. Пукрокова, Д.Р. Юдина, Р.Л. Гаряева, Э.Х. Сакаева

ВЛИЯНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ

Рассмотрено влияние углеводородов нефти на основные группы микроорганизмов: сапрофиты, углеводородоокисляющие микроорганизмы, актиномицеты. Показана зависимость развития микроорганизмов от концентрации углеводородов нефти в почве.

Ключевые слова: микроорганизмы, углеводороды нефти, почва, торф, сапрофиты, углеводородоокисляющие микроорганизмы, актиномицеты.

P.M. Pukroкова, D.R. Yudina, R.L. Garyaeva, E.H. Sakaeva

THE INFLUENCE OF PETROLEUM HYDROCARBONS ON THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOILS

The influence of petroleum hydrocarbons on the main groups of microorganisms: saprophytes, hydrocarbon-oxidizing microorganisms, actinomycetes is considered. The dependence of the development of microorganisms on the concentration of petroleum hydrocarbons in the soil is shown.

Keywords: microorganisms, petroleum hydrocarbons, soil, peat, saprophytes, hydrocarbon-oxidizing microorganisms, actinomycetes.

В настоящее время с увеличением использования углеводородного сырья человечество столкнулось с проблемой загрязнения окружающей среды нефтепродуктами. Они оказывают негативное влияние на физико-химические и микробиологические свойства почв и приводят к их деградации, замедляя процесс естественного самоочищения. Нефть обладает токсическим действием. При ее попадании в почву и воды подавляются важные жизненные процессы, которые приводят к нарушению санитарно-гигиенического состояния окружающей среды [1].

Нефтяное загрязнение стимулирует деятельность бактерий, грибов, дрожжей, углеводородоокисляющих, спорообразующих, азотфиксирующих, аммонифицирующих, денитрифицирующих микроорганизмов и ингибирует деятельность нитрифицирующих и целлюлозоразлагающих. На актиномицеты нефть может оказывать как стимулирующее, так и ингибирующее воздействие [2, 3].

Цель настоящей работы – изучить влияние углеводородов нефти на микробный состав почв.

Для изучения влияния углеводородов нефти на биологическую активность почв, в частности на различные группы микроорганизмов, была использована искусственная почва, приготовленная на основе промышленного песка, торфа и каолина в соотношении 6:3:1 соответственно. В качестве нефтепродуктов была использована смесь из гептана, додекана и тридекана в соотношении 10:1:1, которую добавляли к искусственной почве в количестве 2,8; 5,3; 10,7 и 50 г/кг. Контрольными образцами были торф и искусственная почва без загрязнения, а также дерново-подзолистая супесчаная почва.

Для определения влияния нефтепродуктов на микробный состав почв были выбраны следующие группы микроорганизмов: сапрофиты, углеводородокисляющие микроорганизмы (УВОМ), актиномицеты.

Определение количественного состава определяли путем посева почвенной болтушки на элективные среды: мясопептонный агар (МПА), среду Таусона, крахмалоаммиачный агар (КАА).

На рисунке представлены результаты экспериментальных исследований по изучению микробного состава нефтезагрязненных почв.

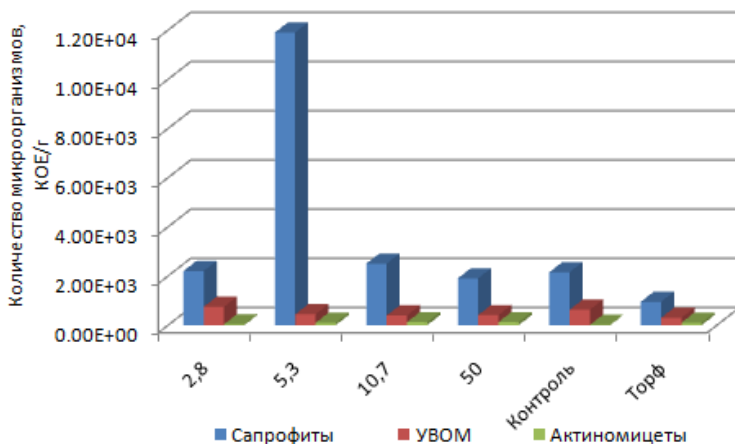


Рис. Микробный состав опытных образцов почв

По результатам экспериментальных исследований было выявлено, что с увеличением углеводов нефти в почве происходит снижение сапрофитных микроорганизмов и увеличение УВОМ и актиномицетов.

С увеличением углеводов до 5,3 г/кг сначала наблюдается всплеск сапрофитов, что свидетельствует о том, что данная группа микроорганизмов использует нефтепродукты как дополнительный источник питательных веществ. При дальнейшем увеличении углеводов нефти они оказывают токсический эффект на данную группу микроорганизмов.

Рост УВОМ связан с увеличением нефтепродуктов, так как данная группа использует углеводороды нефти в качестве источника питания.

При увеличении нефтепродуктов до 10,3 г/кг наблюдается рост актиномицетов, что объясняется поступлением питательных веществ, необходимых для развития данной группы. При дальнейшем увеличении наблюдается спад численности, что свидетельствует о токсическом воздействии на данную группу микроорганизмов.

Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что углеводороды нефти в количестве до 5,3 г/кг не оказывают токсического действия на основные группы микроорганизмов. При увеличении концентрации выше 5,3 г/кг происходит подавление одних групп микроорганизмов и рост других, что связано с появлением новых источников питания для определенных групп микроорганизмов.

Список литературы

1. Бочарникова Е.А. Влияние нефтяного загрязнения на свойства серо-бурых почв Апшерона и серых лесных почв Башкирии. – М.: Наука, 1990. – 160 с.
2. Донерьян Л.Г., Водянова М.А., Тарасова Ж.Е. Микроскопические почвенные грибы – организмы-биоиндикаторы нефтезагрязненных почв // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 9. – С. 891–894.
3. Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е. Пригодность почв загрязненных нефтью, для сельскохозяйственного использования // Плодородие. – 2006. – № 3. – С. 33–34.

Об авторах

Пукрокова Полина – студент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: pukroкова99@mail.ru.

Юдина Дарья Равиловна – студент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: dasch.iudina2012@yandex.ru.

Гаряева Рената Линаровна – студент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: renatagaryaeва@yandex.ru.

Сакаева Эльвира Хабировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: elya2182@mail.ru.

М.А. Рюхов, Л.В. Рудакова

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕКУ ДАНИЛИХА В г. ПЕРМИ

Приведены данные о роли малых рек в г. Перми. Дан краткий обзор состояния реки Данилиха, расположенной в г. Перми и испытывающей воздействие промышленных объектов, хозяйственной деятельности населения, несанкционированных мест размещения отходов. Представлены данные среднегодовых концентраций загрязняющих веществ, свидетельствующие о значительном уровне загрязнения р. Данилихи. Показаны направления улучшения качества воды в реке, в том числе путем привлечения населения и волонтеров к проведению санитарной очистки берегов.

Ключевые слова: малые реки, среднегодовые концентрации загрязняющих веществ, ПДК, антропогенное воздействие.

M.A. Ryukhov, L.V. Rudakova

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE DANILIKHA RIVER, PERM

Data on the role of small rivers in the city of Perm are given. A brief review of the state of the Danilikha River, located in the city of Perm and affected by industrial facilities, economic activities of the population, unauthorized waste disposal sites, is given. The data of the average annual concentrations of pollutants are presented, indicating a significant level of pollution of the river. Danilikha. Directions for improving the quality of water in the river are shown, including by involving the population and volunteers in the sanitary cleaning of the banks.

Keywords: small rivers, average annual concentrations of pollutants, MPC, anthropogenic impact.

Малые реки города Перми, выполняя природоохранную и рекреационную функции, создают неповторимый образ города, отличая его от других городов. По разным подсчетам, в Перми от 100 до 300 рек, ручейков и притоков. К основным относятся: Ласва, Гайва, Мулянка, Васильевка, Ива, Данилиха, Егошиха, Мотовилиха и Язовая. Протяженность этих рек вместе с притоками составляет более 250 километров. В настоящее время в г. Перми реализуется проект «Зеленое кольцо», который направлен на комплексное

благоустройство береговых территорий малых рек Перми: Егошихи и Данилихи, а также благоустройство Черняевского леса.

Для реализации проекта необходимо выполнение комплексных работ не только по благоустройству территории, но и по улучшению качества воды в реках. Производственная и хозяйственная деятельность человека оказывает существенное воздействие на состояние малых рек с учетом их маловодности и расположения на нагруженных городских территориях. Основными источниками загрязнения малых рек г. Перми являются сбросы сточных вод промышленных предприятий, бытовые сточные воды частных домовладений, ливневые стоки, несанкционированные места размещения отходов.

Цель работы – оценка качества реки Данилихи по данным многолетних наблюдений.

Река Данилиха берет начало в южной части Свердловского района около станции Бахаревка, характеризуется болотным типом питания. Протекает по центральной части города Перми и впадает в реку Кама за территорией завода имени Дзержинского. В нижнем течении река помещена в коллектор. Длина реки до входа в коллектор составляет 9,4 км. На всем протяжении Данилиха протекает по застроенной территории Перми и в настоящее время является приемником промышленных, хозяйственно-бытовых и ливневых сточных вод, ее долина занята коллективными садами, гаражами, свалками. Естественное состояние берегов нарушено.

Экологическое состояние водотока ухудшается из-за большого количества автодорог на водосборе Данилихи, а также близкого расположения железнодорожного полотна Транссибирской магистрали. Русло реки извилистое, ширина 0,7–1,2 м, глубина 0,2–0,6 м. На всем протяжении реки прослеживаются высокие эрозионные склоны, правые – более крутые, левые – отлогие и средней крутизны [1].

В бассейне реки расположены: ООО «Новогор-Прикамье» Пермский филиал; железнодорожное полотно Транссибирской магистрали; выгребов жилых районов; автомойки, являющиеся основными источниками поступления загрязняющих веществ.

В таблице представлены среднегодовые концентрации загрязняющих веществ за исследуемый период с 2015 по 2020 г. [3].

Представленные результаты показывают, что на протяжении всего анализируемого времени наблюдается устойчивое загрязнение по следующим показателям: БПК_{полн.}; ХПК; азот нитритный; марганец; медь; фосфаты; нефтепродукты; железо общее.

Среднегодовые концентрации загрязняющих компонентов
в контрольных створах реки Данилиха за 2015–2020 гг.
(по данным отчета экологической лаборатории «ЭкоЛаб»)

Загрязняющие компоненты	ПДК, (рыбохоз) мг/дм ³	Река Данилиха, мг/дм ³					
		2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Растворенный кислород	≥6	8,81	8,283	8,767	8,867	5,267	8,583
Сухой остаток	1000	574	577,333	609,333	575,667	464,667	695,667
БПК _{полн.}	3	7,01	12,483	5,733	6,517	56,833	8,383
ХПК	15	28,4	37,833	25,500	28,500	107,000	45,167
Азот аммонийный	0,4	0,62	0,593	0,317	0,818	3,973	0,228
Азот нитратный	9	2,68	1,467	1,445	1,407	0,725	1,840
Азот нитритный	0,02	0,09	0,078	0,068	0,074	0,035	0,066
Сульфаты	100	113	102,167	134,333	101,667	97,000	130,000
Марганец	0,01	0,15	0,099	0,130	0,198	0,150	0,097
Медь	0,001	0,014	0,018	0,007	0,005	0,002	0,005
АПВ	0,1	0,05	0,038	0,054	0,067	0,340	0,136
Фосфаты	0,61	0,31	0,382	0,637	0,248	1,147	0,976
Нефтепродукты	0,05	0,29	0,438	0,221	0,324	4,022	0,510
Хлориды	300	76	54,667	57,500	58,500	52,933	69,833
Железо общее	0,1	0,11	0,68	2,053	0,247	0,308	0,237
Количество превышений ПДК, ед.		9	9	9	10	11	10

Уровень загрязнения воды р. Данилиха на всем протяжении характеризуется как класс 4 В «Очень грязная» [2].

Анализ результатов многолетних наблюдений показал, что в 2020 году, по сравнению с 2019 г., некоторые показатели качества воды улучшились. Так, отмечено снижение содержания органических веществ по показателям БПК_{полн.} и ХПК, снизилось содержание нефтепродуктов, железа общего, марганца, азота аммонийного. Причиной этого могло быть начало работ по очистке берегов реки, проводимых волонтерами и жителями города Перми. Их силами было очищено около 5 километров береговой линии реки Данилихи. К числу возможных эффективных мероприятий по улучшению качества воды относятся: организация мониторинговых исследований, контроль за сбросом сточных вод промышленных предприятий, предотвращение попадания в реку ливневых сточных вод с помощью систем ливневой канализации [4].

Реализация всего комплекса предусмотренных мероприятий, в том числе организационно-технических и архитектурно-планировочных, позволит снизить антропогенное воздействие на водный объект и решить задачу организации рекреационной зоны в долине р. Данилиха.

Список литературы

1. Китаев А.Б., Двинских С.А. Качество воды малых рек на урбанизированной территории города Перми в современных условиях // Антропогенная трансформация природной среды: материалы междунар. конф. – Пермь, 2010. – Т. 3. – С. 141–146 (дата обращения: 03.03.2022).

2. Константин Бахарев. Грязные долины // Российская газета, 2018 [Электронный ресурс]. – URL: <https://rg.ru/2018/11/08/reg-pfo/malye-reki-permi-prevratilis-v-svalki-musora.html> (дата обращения: 03.03.2022).

3. Макаров В.В., Караваева М.А. Отчет по муниципальному контракту № 2, «Проведение наблюдений за качеством воды в малых реках г. Перми», 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://goo-gl.me/siZfe> (дата обращения: 03.03.2022).

4. Может быть надо меня законы. Или людей: // Как и почему мы теряем долину малых рек Перми и как с этим борются активисты, 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://59.ru/text/longread/2020/09/24/69477963/> (дата обращения: 04.03.2022).

Об авторах

Рюхов Максим Александрович – магистрант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: maksimruhov69@gmail.com.

Рудакова Лариса Васильевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: larisa.rudakova.007@gmail.com.

В.К. Салахова, Л.В. Рудакова

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАЩЕНИЯ С ПЛАСТИКОВЫМИ ОТХОДАМИ

Приведены объемы образования полимерных отходов. Представлены основные методы обращения с пластиковыми отходами, описаны их преимущества и недостатки. В связи с повышением требований по обеспечению экологической безопасности при осуществлении промышленного производства, внедрения экономики замкнутого цикла, контроля углеродного следа на всех стадиях промышленного производства предложена технология утилизации отходов пластмасс с сохранением их материального ресурса. Целесообразным методом переработки пластиковых отходов является использование их в составе асфальтобетонов.

Ключевые слова: пластиковые отходы, асфальтобетон, охрана окружающей среды, утилизация, переработка.

V.K. Salakhova, L.V. Rudakova

ANALYSIS OF PLASTIC WASTE MANAGEMENT METHODS

The volumes of polymeric waste formations are given and an assessment of their impact on the environment is given. Presentations of the main methods of plastic waste management, enjoying their advantages and benefits. In connection with the increase in environmental safety in the circulation of industrial production, the consumption of a closed-loop economy, the control of the carbon footprint at all stages of industrial production, a technology has been proposed for using plastic waste while preserving material raw materials. The most suitable method for recycling plastic waste is to use it as part of asphalt concrete.

Keywords: plastic waste, asphalt concrete, environmental protection, utilization, recycling.

Пластмассы как универсальные материалы используются при производстве упаковочных, строительных и изоляционных материалов, а также в автомобильной промышленности, жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве, медицине и т.д. Широкое распространение пластиков обусловлено их высокой прочностью, эластичностью, гибкостью и устойчивостью к факторам внешней среды. Использование пластмасс в строительстве сооружений и инженерных коммуникаций, для упаковки продукции улучшает эргономические и эстетические свойства, повышает срок службы и

безопасность эксплуатации материалов, а также снижает энерго- и ресурсопотребление.

В настоящее время в мире произведено около 9 млрд тонн пластика, из которых 6 млрд тонн размещено на полигонах ТКО или в окружающей среде. По данным 2015 г., 79 % отходов пластмасс складываются на свалках, 12 % уничтожается методом высокотемпературной обработки и только 9 % пластиковых отходов подвергается вторичной переработке [1]. Размещение постоянно растущих объемов пластиковых отходов на свалках и полигонах формирует не только механическое загрязнение окружающей среды, но и химическое, которое заключается в образовании при деструкции полимеров опасных для живых организмов химических соединений.

Повышение требований к обеспечению экологической безопасности промышленных производств, необходимость внедрения принципов экономики замкнутого цикла и снижения углеродного следа на всех этапах технологического процесса вызывают необходимость научного обоснования разработки технологий использования ресурсного потенциала полимерных отходов.

Основные способы обезвреживания пластиковых отходов можно разделить на три группы: механический и химический рециклинг, термическая обработка.

Механический рециклинг представляет собой сортировку, промывку, измельчение и дробление отходов пластмасс с целью получения рециклата – материала, используемого для производства новых изделий из пластика. Одной из самых распространённых форм рециклата является пластиковая гранула. Процесс гранулирования включает в себя ручную или автоматическую сортировку отходов пластмасс по виду и цвету, затем их измельчение в специальном дробильном оборудовании и очистку от примесей раствором каустической соды и воды. Полученная смесь высушивается и нагревается до определенной температуры в зависимости от вида пластика, после чего продавливается методом экструзии через специальные нитевидные отверстия и помещается в холодную воду. На завершающем этапе охлажденные пластиковые нити нарезаются на гранулы при помощи пеллетайзера.

Основным недостатком данного метода является необходимость в предварительной тщательной сортировке отходов пластмасс, что не всегда возможно в связи с длительным нахождением

отслуживших свой срок пластиковых изделий на полигонах ТКО и свалках.

Химический рециклинг заключается в воздействии на полимерные молекулы, в результате чего образуются новые структуры, которые применяются в качестве сырья для производства новых целевых продуктов. В таблице представлены основные виды химической переработки отходов пластмасс.

Методы химической переработки отходов пластика

Метод переработки	Описание	Достоинства	Недостатки
Гидролиз	Расщепление пластика за счет водно-кислотной смеси и высоких температур	Пониженные запросы к сортировке и очистке	Значительные затраты энергетических ресурсов
Метанолиз	Расщепление пластика при помощи метанола и высоких температур	Лёгкость регенерации метанола	Взрывоопасность, образование опасных химических веществ
Термокатализ	Переработка пластика в жидкое топливо с использованием катализатора разового действия	Низкие затраты энергетических ресурсов	Сложность контроля технологического оборудования и процесса переработки

Наиболее распространенными термическими методами переработки отходов пластика являются пиролиз и газификация.

Пиролиз представляет собой цепочку химических реакций разложения пластиковых отходов, протекающих при температурах порядка 650 °С в инертной атмосфере. Данная технология позволяет вовлечь пластиковые отходы в производство полезных продуктов, таких как мазут, дизельное и печное топливо, кроме того, с помощью пиролизного реактора получают горячий газ для котельных на ТЭЦ. Стоит учесть, что при использовании пиролизной утилизации высвобождается большое количество опасных химических соединений, что вызывает необходимость оснащения оборудования качественной системой фильтрации, требующей серьезных финансовых вложений.

Метод газификации представляет собой процесс воздействия потока плазмы при температуре 1200 °С на неотсортированные отходы пластмасс, при этом разрушаются смолы и токсичные вещества. Зольные остатки прессуют в брикеты и закладывают в фундаменты строящихся зданий и сооружений. Главным недостатком

данного метода переработки является высокая вероятность эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу.

При реализации технологий утилизации отходов пластмасс, представленных выше, эффекты экономии первичных ресурсов и сокращения накопленных пластиковых отходов не соотносятся с возможным вторичным загрязнением окружающей среды, а также затратой материальных ресурсов.

К числу перспективных методов использования материального ресурса отходов пластмасс относится их вовлечение в цикл производства асфальтобетонной смеси. Ранее были проведены исследования по установлению возможности использования пластиковых отходов в составе асфальтобетонов, которые показали хорошие результаты [2–5].

Для исследования выбраны пластики 1-й и 4-й группы (полиэтилентерефталат и полиэтилен низкого давления соответственно) в соотношении 50/50. Выбор обоснован низкой токсичностью материалов при их нагреве и температурой плавления пластиков. В состав стандартной асфальтобетонной смеси было добавлено 5 % пластика от массы битума. Температура нагрева исходного минерального сырья и битума для приготовления асфальтобетона составила 160 °С. При данных условиях пластик 4-й группы полностью расплавился, а пластик 1-й группы перешёл в пластичное состояние. Проведенные предварительные лабораторные исследования показали, что при использовании пластиков в составе асфальтобетона возможно получение составов, не уступающих по своим характеристикам асфальтобетонам на природном сырье. Такие важные показатели, как предел прочности при сжатии, а также сдвигустойчивость, имеют лучшие значения по сравнению со стандартными образцами. Это свидетельствует о повышенных эксплуатационных качествах дорожного покрытия, а также об увеличенном сроке службы.

Технология утилизации полимерных отходов с получением асфальтобетонов для дорожного строительства позволяет вовлечь в ресурсный цикл большие объемы вторичного сырья без дополнительных затрат на дорогостоящее оборудование. Такой подход позволяет обеспечить не только снижение объемов складированных на полигонах ТКО полимеров, но и снизить эмиссию загрязняющих веществ, в том числе парниковых газов.

Список литературы

1. Потапова Е.В. Проблема утилизации пластиковых отходов // Известия Байкальского государственного университета. – 2018. – № 4. – С. 535–544.
2. Tyuryukhanov K.Y., Pugin K.G. An impact of waste foundry sand on asphalt concrete mixture В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference «FarEastCon 2019». – 2020. – С. 22–79.
3. Тюрюханов К.Ю., Пугин К.Г. Исследование взаимодействия битума с минеральными частицами в асфальтобетоне // Транспортные сооружения. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 19.
4. Пугин К.Г., Пугина В.К. Разработка технологии использования отходов пластика в дорожном строительстве Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2020. – № 3. – С. 21–28.
5. Optimum Use of Plastic Waste to Enhance the Marshall Properties and Moisture Resistance of Hot Mix Asphalt / Hamed M. Jassim, Omar T. Mahmood, Sheelan A. Ahmed // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2014. – Vol. 7. – P. 18–25.

Об авторах

Салахова Вероника Константиновна – аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: veronika815@inbox.ru.

Рудакова Лариса Васильевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: larisa@eco.pstu.ac.ru.

А.С. Соловьёва, Л.В. Рудакова

ОЦЕНКА ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА РАЗЛИЧНЫМИ ШТАММАМИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Поиск эффективных технологий утилизации выбросов CO_2 является актуальной проблемой. Биофиксация CO_2 микроводорослями – направление, которое может обеспечить длительную фиксацию CO_2 в биомассе и экономическую эффективность при производстве продуктов из нее. По результатам анализа источников научно-технической информации проведена сравнительная характеристика 11 штаммов микроводорослей и цианобактерий с целью выявления наиболее эффективных штаммов для разработки технологии. Наиболее перспективными и легкодоступными штаммами являются: *Chlorella sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Cylindrotheca closterium* и *Euglena gracilis*. Оценка поглотительной способности углекислого газа различными штаммами микроводорослей будет уточнена в экспериментальных исследованиях.

Ключевые слова: углекислый газ, микроводоросли, поглощение CO_2 , утилизация CO_2 , штаммы микроводорослей.

A.S. Solovyova, L.V. Rudakova

EVALUATING THE ABILITY OF DIFFERENT STRAINS OF MICROALGAE TO ABSORB CARBON DIOXIDE

The search for effective carbon dioxide utilisation technologies is an urgent problem. Biofixation of CO_2 by microalgae is an approach that can ensure long-term CO_2 fixation in biomass and economic efficiency in the production of products made from it. A comparative characterisation of 11 strains of microalgae and cyanobacteria was carried out based on an analysis of scientific and technical information sources to identify the most effective strains for technology development. The most promising and readily available strains are: *Chlorella sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Cylindrotheca closterium* and *Euglena gracilis*. Evaluation of the ability of different microalgae strains to absorb carbon dioxide will be refined in experimental research.

Keywords: carbon dioxide, microalgae, CO_2 absorption, CO_2 utilisation, microalgae strains.

Глобальной экологической и социально-экономической проблемой современного общества является изменение климата, ее важность признали 189 стран, включая Россию, подписав Парижское соглашение с целью удержания темпов роста глобальной температуры. Так, одной из задач экологического развития Российской

Федерации является сокращение выбросов парниковых газов, которая реализуется, в том числе, за счет утилизации выбросов CO_2 . Повышенный интерес к CO_2 связан с его значительными объемами образования в результате антропогенной деятельности: в 2018 году объем выбросов CO_2 составлял 68 % от общего объема выбросов парниковых газов.

В большинстве случаев уловленный из дымовых газов CO_2 сжижается под давлением и транспортируется в места его утилизации (использования или захоронения). В промышленных масштабах CO_2 используется для производства соды, моющих средств, пищевых добавок, сухого льда и др. Данные направления являются экономически выгодными, но их недостатком является короткий период фиксации углерода. Захоронение CO_2 реализуется в глубоко залегающих соленосных формациях или угольных пластах, что обеспечивает длительную изоляцию, однако сопровождается значительными затратами на транспортировку и закачку углекислоты. Перспективным направлением утилизации CO_2 является его закачивание в пласты при нефтедобыче, что повышает нефтеотдачу и энергоэффективность процесса, однако эта технология может быть экономически обоснована только в условиях низких затрат на транспортировку.

Существуют исследования о возможности декарбонизации атмосферы при помощи фотосинтеза. Эффективность фиксации CO_2 фотосинтезирующими микроорганизмами в 10–50 раз превосходит эффективность высших растений. Так, 1 кг микроводорослей потребляет около 1,83 кг CO_2 [1]. Биомасса микроводорослей может являться альтернативой традиционному сырью благодаря высокой скорости роста микроорганизмов и ценности ее состава. Считается, что микроводоросли различных штаммов могут содержать до 70 % липидов, 60 % углеводов, 65 % белков. Таким образом, биомасса может быть использована для производства кормовых добавок, биотоплива, удобрения и др. Учитывая достаточную изученность фотосинтеза, распространенность микроводорослей, возможность реализации процесса без существенных затрат на транспортировку газа и пригодность биомассы для производства продуктов, стратегия утилизации выбросов CO_2 при помощи микроводорослей является потенциально реализуемой и привлекательной.

Для высокой скорости роста микроводоросли должны быть обеспечены достаточным количеством питательных веществ (до 2 т

CO₂, 100 кг N и 10 кг P на 1 т биомассы) и воды (более 1 м³ на 1 кг биомассы) при оптимальных условиях окружающей среды (свет, температура, pH и т.д.) [1]. Количество необходимых питательных веществ и способность к выживаемости в определенных условиях среды во многом зависят от штамма микроводорослей. Для внедрения в практику технологии утилизации выбросов CO₂ при помощи микроводорослей необходимо подобрать штамм, способный обеспечить максимальный прирост биомассы в условиях, создаваемых при пропускании через среду культивирования выбросов дымового газа. Содержание CO₂ в дымовых газах составляет 5,0–25,0 %, в их состав также входят другие компоненты (около 142 соединений), которые могут быть как благоприятны, так и токсичны для микроводорослей.

Критериями выбора штамма микроводорослей являются его доступность, оптимальная для высокой скорости роста концентрация CO₂ в выбросах, эффективность фиксации углерода и использования света, скорость роста, толерантность к примесям газового потока, содержание ценных компонентов в биомассе, устойчивость к колебаниям температуры, pH и др. Значимость данных критериев может быть оценена только в ходе лабораторного эксперимента при использовании различных штаммов микроводорослей, культивируемых в одинаковых условиях. С целью выявления потенциально интересных для исследований штаммов, характеризующихся высокой поглотительной способностью, необходимо провести обзор научной литературы.

В ходе анализа были изучены результаты экспериментальных исследований по 11 штаммам микроводорослей и цианобактерий (таблица). В качестве информативных показателей для сравнения штаммов были выбраны: доступность, оптимальная концентрация CO₂ в газовом потоке, эффективность фиксации углерода и биохимический состав.

Доступность штамма оценивали по возможности выделения штамма из окружающей среды в регионе проведения эксперимента (Пермский край). Так, в случае если микроводоросль определенного штамма обитает только в глубоких водах с повышенной соленостью, то штамм признавался труднодоступным.

Оптимальная концентрация CO₂ в газовом потоке в исследованиях определяется экстремумом прироста биомассы. При этом скорость подачи газозооушной смеси, объемы биореактора, состав

сред культивирования и прочие условия в исследованиях различны, что говорит о разной степени растворимости и доступности CO₂ для микроводорослей – данный факт не позволяет определить критерий как основной при выборе штамма.

Сравнительная характеристика штаммов микроводорослей

№ п/п	Штамм микроорганизмов	Доступность	Оптимальная концентрация CO ₂ в газовом потоке, %	Эффективность фиксации углерода, %	Фотосинтетическая эффективность, %	Содержание белков, %	Содержание липидов, %	Содержание углеводов и др. компонентов, %
Микроводоросли								
1	<i>Chlorella sp.</i>	Легко-доступен	10 [2, 3] 5–15 [1]	58 [2] 20–55,3 [1]	0,7 [1, 4]	30 [4] 9,07 [5] 20 [1]	15 [4] 47,5 [5] 30 [1]	55 [4] 19,09 [5] 50 [1]
2	<i>Scenedesmus sp.</i>	Легко-доступен	5–10 [2] 6–18 [2] 10–20 [3] 6–12 [4]	67 [2] 6 [3] 28,8 [5]	1,4 [4] 3,2 [1]	38 [4] 23,2–31,4 [5] 3–47 [3] 31 [1]	12 [4] 41,2–64 [5] 2–30 [5] 64 [1]	50 [4] 10–50 [3] 5 [1]
3	<i>Desmodesmus abundans</i>	Легко-доступен	5–10 [2] 25 [3]	Нет данных	Нет данных	17,6 [5]	Нет данных	Нет данных
4	<i>Nannochloropsis sp.</i>	Трудно-доступен	30 [3] 15–30 [4] 10–20 [1]	Нет данных	Нет данных	Нет данных	22,7–52 [4]	Нет данных
5	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	Легко-доступен	10 [3]	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
6	<i>Botryococcus braunii</i>	Легко-доступен	10 [3]	20 [3]	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
7	<i>Cylindrotheca closterium</i>	Легко-доступен	Нет данных	90 [5]	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
8	<i>Porphyridium purpureum</i>	Трудно-доступен	Нет данных	69 [5]	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
9	<i>Tetraselmis sp.</i>	Трудно-доступен	5–15 [5] 15 [5]	Нет данных	Нет данных	17,6 [5]	33 [5]	Нет данных
10	<i>Euglena gracilis</i>	Легко-доступен	10 [5]	64,8 [5]	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Цианобактерии								
11	<i>Spirulina sp.</i>	Легко-доступен	5 [3] 6–12 [4]	38 [5]	0,4 [1]	60 [4] 50 [1]	5 [4] 10 [1]	35 [4] 40 [1]

Эффективность фиксации углерода биомассой микроводорослей характеризует отношение массы углерода, фиксируемого биомассой, к массе углерода, подаваемой в составе выбросов.

Фотосинтетическая эффективность определяет долю световой энергии, зафиксированной в биомассе в зависимости от теплоты сгорания биомассы. Согласно исследованиям [1], эффектив-

ность фотосинтеза клеток микроводорослей составляет 2–3 %, в то время как у цианобактерий 0,5–1,5 %. Исходя из этого параметра, производство микроводорослей является более эффективным, чем цианобактерий. Эффективность может быть значительно увеличена путем оптимизации условий культивирования и конструкции реактора для окончательно выбранного штамма.

Биохимический состав биомассы имеет значимость при получении продукта. Рассматривая фиксированную стоимость основных компонентов биомассы, можно сделать вывод о ее экономической ценности [1]. Стоит сказать, что биохимический состав любого штамма в значительной степени зависит от фазы, на которой была собрана биомасса, поэтому оптимальная для сбора фаза должна быть определена экспериментально.

По результатам исследований было отмечено, что все рассмотренные штаммы могут быть использованы для утилизации выбросов углекислого газа (оптимальная для роста концентрация CO_2 5–25 % в составе дымовых газов). Были выявлены штаммы, которые способны переносить высокие концентрации CO_2 (более 65 %): *Scenedesmus sp.*, *Cylindrotheca closterium*, *Porphyridium purpureum*, *Euglena gracilis*. Наибольшей эффективностью к фиксации углерода (более 50 %) обладают штаммы *Chlorella sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Cylindrotheca closterium*, *Porphyridium purpureum* и *Euglena gracilis*. Таким образом, наиболее перспективными и легкодоступными штаммами для утилизации выбросов CO_2 в потенциальном районе экспериментальных исследований являются *Chlorella sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Cylindrotheca closterium* и *Euglena gracilis*.

Список литературы

1. Comparative evaluation of microalgae strains for CO_2 capture purposes / C. Sepulveda, C. Gomez, N. Bahraoui [et al.] // Journal of CO_2 Utilization. – 2019. – Vol. 30. – P. 158–167.
2. Leflay H., Pandhal J., Brown S. Direct measurements of CO_2 capture are essential to assess the technical and economic potential of algal-CCUS // Journal of CO_2 Utilization. – 2021. – Vol. 52.
3. Bio-capture and influence of CO_2 on the growth rate and biomass composition of the microalgae *Botryococcus braunii* and *Scenedesmus sp* / L.I. Rodas-Zuluaga, L. Castañeda-Hernández, E.I. Castillo-Vacas [et al.] // Journal of CO_2 Utilization. – 2021. – Vol. 43.

4. Кулабухов В.Ю., Карякин Д.О., Мальцевская Н.В. Перспективы использования микроводорослей для поглощения CO₂ из дымовых газов промышленных предприятий // Экология и промышленность России. – 2016. – Т. 20, № 9. – С. 4–8.

5. Gür T.M. Carbon Dioxide Emissions, Capture, Storage and Utilization: Review of Materials, Processes and Technologies // Progress in Energy and Combustion Science. – 2022. – Vol. 89.

Об авторах

Соловьёва Алёна Сергеевна – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alyona.solvyova@mail.ru.

Рудакова Лариса Васильевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: larisa@eco.pstu.ac.ru.

И.А. Устюжанин, Е.А. Горностаева

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВБЛИЗИ
РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН Г. КИРОВА**

В работе проведена оценка загруженности автодорог и определение объема выделяющихся вредных веществ автомобильным транспортом вблизи рекреационных зон г. Кирова, а именно рассмотрены вопросы плотности дорожного потока, объема выбросов загрязняющих вредных веществ от автотранспорта, количества чистого воздуха, необходимого для обезвреживания атмосферы вблизи исследуемой территории.

Ключевые слова: автотранспортная нагрузка, атмосферный воздух, выбросы, загрязняющие вещества, вредные вещества

I.A. Ustyuzhanin, E.A. Gornostaeva

**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ROAD TRANSPORT
ON AIR POLLUTION NEAR RECREATIONAL AREAS IN KIROV**

The paper assesses traffic congestion and determines the volume of harmful substances emitted by road transport near the recreational areas of Kirov city. In particular, the paper considers the issues of traffic density, volume of emissions of pollutants from motor vehicles, the amount of clean air, required for decontamination of the atmosphere near the study area.

Keywords: vehicle traffic load, atmospheric air, emissions, pollutants, harmful substances

Актуальной проблемой современного общества является негативное воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду. По оценке специалистов, вклад автотранспорта в загрязнение атмосферы составляет 85 % [1]. В связи с этим проблема загруженности автомобильных дорог является значимой. В условиях урбанизации рекреационные зоны, созданные для восстановления работоспособности человека, приобретают особое значение. По этой причине необходимо быть уверенным в чистоте атмосферного воздуха на данных территориях. Поэтому цель работы – определить автомобильную нагрузку и расчет выбросов автомобильного

транспорта на территории, прилежащей к наиболее популярным рекреационным зонам г. Кирова.

Проведение исследования загруженности автомобильных дорог вели согласно методике [2] у следующих зон отдыха: 1 – парк Победы, 2 – Кочуровский парк, 3 – Дендрологический парк, 4 – Александровский парк, 5 – парк им. Гагарина, 6 – Заречный парк. В выбранных зонах проводился учет проходящих транспортных средств в обоих направлениях с подразделением по следующим группам: легковые, грузовые автомобили, автобусы. Исследования проводились в периоды наибольшей транспортной активности – утром, вечером и в период наименьшей активности – днем. Расчет выбросов вредных загрязняющих веществ вели после проведения исследования загруженности автомобильных дорог согласно методике [3].

Результаты натурных исследований структуры и интенсивности движущегося автотранспортного потока представлены на рис. 1. Показано, что наименьшим разнообразием транспорта отличается первая рекреационная зона. Выявлено, что наименьший поток машин наблюдается у 4-й и 5-й зонах отдыха, со средним показателем – 277 и 605 авт./ч соответственно. Умеренная загруженность отмечалась у 1-й (794 авт./ч) и 6-й (889 авт./ч) рекреационных зон. Наиболее плотный поток транспорта находился в 3-й зоне – 1022 авт./ч. и во 2-й зоне – 1310 авт./ч. Санитарные требования по уровню загрязнения допускают поток транспортных средств в жилой зоне интенсивностью не более 200 авт./ч. Из этого следует, что полученные значения во всех исследуемых рекреационных зонах превышают соответствующие санитарные нормы, а это, в свою очередь, может повлиять на здоровье людей, поскольку источники загрязнения воздуха находятся в приземном слое атмосферы, а именно в зоне дыхания.

Расчет выброса загрязняющих веществ автотранспортом вели для следующих загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух с отработавшими газами автомобилей: оксид углерода (CO), бензол (C₆H₆), диоксид азота (NO₂). По результатам исследования (табл. 1) выявлено, что атмосфера рекреационных территорий города и близлежащих районов перенасыщена вредными веществами – продуктами сгорания топлива. Наибольшая концентрация вредных веществ, равная 515,2 г/ч на м³, наблюдается на территории Кочуровского парка (зона 2) и Дендрологического

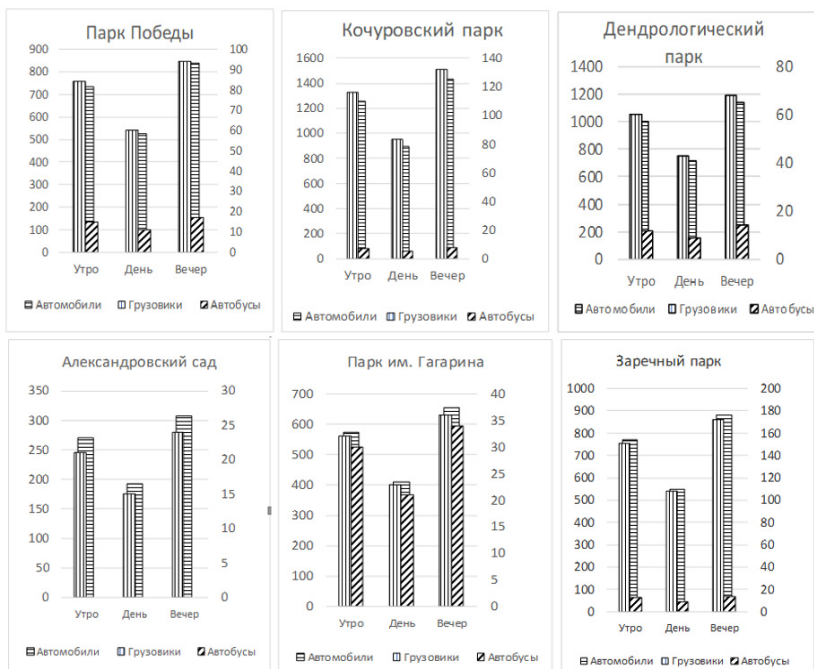


Рис. 1. Загруженность автомобильных дорог, авт./ч (слева находятся данные для легковых автомобилей, справа – для грузовых автомобилей и автобусов)

Таблица 1

Масса выделившихся вредных веществ, г/ч на м³

Рекреационные зоны	Масса выделившихся вредных веществ, г/ч на м ³			Суммарное значение загрязняющих веществ
	CO	C ₆ H ₆	NO ₂	
1	195,12	95,05832143	26,97801429	317,1563357
2	318,5325	154,0409464	42,59961429	515,1730607
3	254,6025	121,7802857	31,95340714	408,3361929
4	67,155	32,31289286	8,761028571	108,2289214
5	159,3225	76,22132143	19,68816429	255,2319857
6	210,0975	104,9218393	32,91004286	347,9293821

парка (зона 3), а наименьшая – в Александровском саду (зона 4). Сопоставляя полученный результат (рис. 2) с данными загруженности автодороги (рис. 1), приходим к заключению, что масса выделившихся вредных веществ напрямую зависит от загруженности автомобильных дорог, находящихся поблизости. Для нормализации состояния атмосферы при данных условиях требуется 10,3 млн м³ чистого воздуха, что эквивалентно объему 5,5 тыс. олимпийских бассейнов (табл. 2).

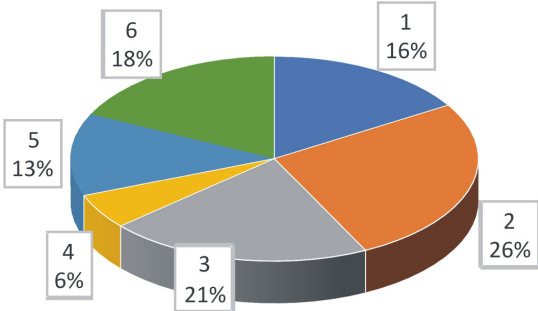


Рис. 2. Масса выделившихся вредных веществ, %

Т а б л и ц а 2

Объем чистого воздуха, необходимый для нормализации атмосферы, м³

Точки отбора проб	Масса требуемого воздуха для элемента, м ³			Суммарное количество чистого воздуха, м ³
	CO	C ₆ H ₆	NO ₂	
1	65 040	950 583,2143	674 450,3571	1 690 073,571
2	106 177,5	1 540 409,464	1 064 990,357	2 711 577,321
3	84 867,5	1 217 802,857	798 835,1786	2 101 505,536
4	22 385	323 128,9286	219 025,7143	564 539,6429
5	53 107,5	762 213,2143	492 204,1071	1 307 524,821
6	70 032,5	1 049 218,393	822 751,0714	1 942 001,964

Таким образом, показано, что автомобильный транспорт вносит весомый вклад в загрязнение атмосферного воздуха г. Кирова. Объем действующего транспорта напрямую влияет на состояние атмосферы вблизи рекреационных зон. Самой низкой массой загрязняющих веществ являются зоны, где наблюдаются наи-

меньшие показатели плотности движения автотранспорта, а также наиболее плотные зеленые насаждения. Наибольшая концентрация вредных веществ соответствует зоне 2, что объясняется непосредственной близостью данной территории к одной из самых загруженных автотранспортом дорог города. Может оказывать влияние и близость к объездным маршрутам – наблюдается повышенный поток легкового и грузового транспорта.

Список литературы

1. Подгорнова Н.А. Экологические проблемы автомобильного транспорта и пути решения // Молодой ученый. – 2016. – № 22.2 (126.2). – С. 48–50.
2. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения: 15.10.2021).
3. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293828/4293828118.htm> (дата обращения: 15.10.2021).

Об авторах

Устюжанин Иван Андреевич – студент бакалавриата кафедры «Промышленная безопасность и инженерные системы», Вятский государственный университет, e-mail: stud115305@vyatsu.ru.

Горностаева Елена Анатольевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Промышленная безопасность и инженерные системы», Вятский государственный университет, e-mail: ea_gornostaeva@vyatsu.ru.

В.В. Ушакова, Н.Н. Слюсарь

КОНЦЕПЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ ЭМИССИЙ БИОГАЗА НА ПОЛИГОНАХ ТКО

В статье перечислены концепции по снижению эмиссий биогаза на полигонах с твердыми коммунальными отходами, представлены их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: полигон, твердые коммунальные отходы, биогаз, эмиссия биогаза.

V.V. Ushakova, N.N. Slyusar

EMISSION REDUCTION CONCEPTS BIOGAS AT MSW LANDFILLS

The article lists concepts for reducing biogas emissions at landfills with solid municipal waste, their advantages and disadvantages are presented.

Keywords: msw landfill, municipal solid waste, biogas, emission of biogas.

Человек в результате своей деятельности оказывает существенное влияние на состояние каждого компонента в отдельности и в целом на состояние окружающей среды. В ходе антропогенного воздействия возникают различные экологические проблемы. Одной из проблем современного мира является накопление отходов и дальнейшее обращение с ними. Каждый год количество отходов увеличивается, поэтому необходимо внедрять новые технологии в обращение с отходами, тем самым снижать нагрузку на окружающую среду.

На данный момент в Российской Федерации очень остро стоит проблема отходов, в том числе твердых коммунальных отходов, это связано с тем, что накопление происходит намного быстрее, чем утилизация и их дальнейшая переработка.

Основным методом обращения с твердыми коммунальными отходами в Российской Федерации является размещение отходов на полигонах, санкционированных и несанкционированных свалках. Около 95 % отходов захоранивается на полигонах без предварительной обработки, кроме этого вторичное сырье и опасные компоненты извлекаются в небольших объемах [1].

Полигон с твердыми коммунальными отходами является источником эмиссий биогаза, в составе которого основными компонентами являются метан (до 60 %) и диоксид углерода (до 40 %). Оба вещества относятся к парниковым газам, и приносят большую долю в парниковый эффект [2].

На сегодняшний день существует несколько концепций по снижению эмиссий биогаза на полигонах с твердыми коммунальными отходами:

1. Предварительная сортировка отходов на стадии раздельного сбора.

2. Предварительная обработка отходов – термическая, анаэробная или аэробная механо-биологическая обработка отходов, предварительное компостирование отходов.

3. Установка систем инфильтрации воздуха и/или воды для ускорения процессов стабилизации отходов на полигоне.

4. Обустройство верхних метаноокисляющих покрытий (биофильтров).

5. Экскавация массива полигона с вторичным использованием накопленных материалов и восстановление территорий [3].

При предварительной сортировке отходов на стадии раздельного сбора отделяют органическую составляющую и вторичное сырье от всей массы отходов, что позволяет значительно снизить объемы образования биогаза. Данный подход будет исправно действовать только при наличии системы раздельного сбора отходов по всей территории, на которой регулярно образуются отходы. В настоящее время эта система работает в локальных точках, что является недостатком этого подхода в обращении с отходами на территории Российской Федерации.

Преимуществом предварительной обработки отходов является уменьшение объема отходов для всех видов обработок. А недостатки для каждого вида различаются.

При термической обработке отходов можно получать тепло- и электроэнергию, но необходимые для этого установки дорогостоящи. При анаэробной обработке отходов преимуществом является использование небольшого объема бактериальной массы и отсутствие финансовых расходов на дополнительное оборудование. Среди недостатков можно выделить необходимость в поддержании условий существования (отсутствие кислорода, температурный режим, показатель pH, регулярная выемка твердого

осадка) анаэробных бактерий. Преимуществом аэробной механо-биологической обработки является безопасность активного ила, результата жизнедеятельности аэробных бактерий. К недостатку относят энергозависимость системы данной обработки. При компостировании преимущество заключается в простоте подхода и небольших финансовых затратах в сравнении с другими подходами. А к недостаткам относят возможность распространения заболеваний дикими животными и грызунами [3].

При установке систем инфильтрации воздуха и/или воды для ускорения процессов стабилизации отходов на полигоне преимуществом является отсутствие возврата растворимых компонентов фильтрата в тело полигона (с водой) и ускоренная стабилизация отходов (с аэрацией). К недостатку относят временную деятельность инфильтрации на полигонах.

При обустройстве верхних метаноокисляющих покрытий (биофильтров) преимуществом является использование как органических (компост), так и неорганических материалов (например керамика). Среди недостатков выделяют зависимость эффективности жизнедеятельности метаноторфных бактерий от следующих факторов: размера фракций материала, температуры и содержания влаги, потока CH_4 и O_2 , наличия питательных веществ (фосфора, азота) и ингибиторов (например аммония, нитрита) и т.д. Все эти факторы влияют на подбор окисляющего материала, поскольку его качество оказывает итоговое влияние на эффективность окисления метана [3].

При экскавации массива полигона преимуществом считают снижение уровня долгосрочных эмиссий и использование грунтовых материалов, экскавированных из массива полигона для рекультивации нарушенных земель, отсыпки дорог и для других сооружений. К недостаткам относится снижение ресурсного потенциала захороненных отходов с 30–45 % до 10–20 % [3].

Таким образом, можно выделить следующие концепции по снижению эмиссий биогаза на полигонах с твердыми коммунальными отходами: предварительная сортировка отходов на стадии раздельного сбора, предварительная обработка отходов, установка систем инфильтрации воздуха и/или воды, обустройство верхних метаноокисляющих покрытий (биофильтров), экскавация массива полигона. Среди всех можно выделить предварительную сортировку отходов на стадии раздельного сбора и экскавацию массива

ва, так как эти подходы являются более экологичными в сравнении с остальными.

Список литературы

1. Вайсман Я.И., Коротаев В.Н., Петров В.Ю. Управление отходами. Захоронение твердых бытовых отходов: учеб. пособие для специальностей вузов. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2001. – 133 с.
2. Джамалова Г.А. Эмиссия токсичного и взрывоопасного биогаза полигонами твердых коммунальных отходов // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2013. – № 22 (48). – С. 92–95.
3. Пухнюк А.Ю., Слюсарь Н.Н. Принципы управления полигоном захоронения твердых коммунальных отходов на разных этапах жизненного цикла // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2016. – № 2. – С. 148–164.

Об авторах

Ушакова Вера Викторовна – студент магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ushakovavera17@yandex.ru.

Слюсарь Наталья Николаевна – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nnslyusar@gmail.com.

К.А. Хусаинова, Г.М. Батракова

ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ОТ ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДОВ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Цементные предприятия относят к производствам с большим объемом выбросов парниковых газов. Рассмотрены два крупных цементных завода Уральского региона, которые производят цемент мокрым способом. Проведено сравнение расчетного количества CO_2 по двум методикам. Предложены перспективные направления сокращения выбросов углекислого газа для цементных предприятий.

Ключевые слова: цемент, углекислый газ, производство цемента, топливо, цементный завод.

K.A. Khusainova, G.M. Batrakova

THE ASSESSMENT OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM CEMENT PLANTS IN THE URAL REGION

Cement enterprises are classified as industries with a large amount of greenhouse gas emissions. Two large cement plants of the Ural region, which produce cement by the wet method, are considered. The calculated amount of CO_2 was compared by two methods. Promising directions for reducing carbon dioxide emissions for cement enterprises are proposed.

Keywords: cement, carbon dioxide, cement production, fuel cement factory.

Основная доля выбросов углекислого газа приходится на работу предприятий, и цементное производство является одним из ключевых источников выбросов парниковых газов и имеет углеродный след. Согласно данным 2019 года, цементные заводы выбрасывают порядка 8 % от мирового объема выбросов диоксида углерода (CO_2).

Производство цемента является сложным и многоступенчатым процессом, который напрямую воздействует на окружающую среду. На этапе добычи, погрузки, измельчения и сушки образуется большое количество пылевых эмиссий, тогда как при обжиге сырьевой смеси и сжигании топлива происходит образование пылегазовых выбросов, в составе которых присутствует значительное количество углекислого газа [2].

Способ производства цемента обуславливает объем выбросов диоксида углерода – мокрый, при котором образуется большее количество эмиссий CO_2 по причине больших затрат энергии при сжигании топлива в печах, и сухой.

В России тенденция декарбонизации цементных предприятий только набирает обороты, поэтому данная проблема остается актуальной.

Проведено сравнение расчетного количества выбросов CO_2 на примере двух крупных цементных заводов Уральского региона – ООО «Горнозаводскцемент» и ОАО «Сухоложскцемент», производительностью 1,2 млн тонн в год и 700 тыс. тонн в год соответственно. Данные заводы в настоящее время производят цемент мокрым способом и в качестве топлива используют природный газ.

Расчеты проводились по методическим указаниям и руководству по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в РФ № 300 (далее – МУ МПР 300), и руководящим принципам инвентаризации парниковых газов МГЭИК, формулы которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

МГЭИК	МУ МПР 300
$E_{\text{CO}_2}^{\text{произв.}} = M \times EF_{\text{CO}_2} \times CF$	$E_{\text{CO}_2}^{\text{произв.}} = (M \times EF_{\text{CO}_2} \times F) - F_{\text{п}} + F$
$E_{\text{CO}_2}^{\text{произв.}}$ – выбросы CO_2 от производства цемента; M – масса произведенного клинкера; EF_{CO_2} – коэффициент выбросов для клинкера, тонны $\text{CO}_2/\text{т}$ клинкера; CF – поправочный коэффициент выбросов для цементной пыли, отн. ед.	$E_{\text{CO}_2}^{\text{произв.}}$ – выбросы CO_2 от производства цемента; M – масса карбоната; EF_{CO_2} – коэффициент выбросов CO_2 для карбоната; F – степень кальцинирования карбоната; $F_{\text{п}}$ – масса пыли; F' – масса углеродосодержащих материалов
$E_{\text{CO}_2}^{\text{сжиг.}} = M \times K_1 \times \text{ТНЗ} \times K_2 \times 3,667$	$E_{\text{CO}_2}^{\text{сжиг.}} = FC \times EF_{\text{CO}_2} \times OF$
$E_{\text{CO}_2}^{\text{сжиг.}}$ – выбросы CO_2 от сжигания топлива; M – расход топлива; K_1 – коэффициент окисления углерода; ТНЗ – теплотворное нетто-значение; K_2 – коэффициент выбросов углерода	$E_{\text{CO}_2}^{\text{сжиг.}}$ – выбросы CO_2 от стационарного сжигания топлива; FC – расход топлива; EF_{CO_2} – коэффициент выбросов CO_2 от сжигания топлива; OF – коэффициент окисления топлива

Результаты расчета приведены в табл. 2, сравнение результатов – на рисунке.

Таким образом, две расчетные методики показали небольшой расход по причине отсутствия информации о коэффициентах, ко-

которые берутся согласно показателям цементных заводов, и в этом случае подставлялись универсальные числа, указанные в методических указаниях. По результатам расчетного эксперимента можно сделать вывод, что цементный завод ООО «Горнозаводскцемент» выделяет больше выбросов CO_2 , чем ОАО «Сухоложскцемент» вследствие большего расхода топлива.

Т а б л и ц а 2

Результаты расчета выбросов диоксида углерода от цементных заводов по методикам МУ МПР 300 и МГЭИК

Параметр	МУ МПР 300		Параметр	МГЭИК	
	ООО «Горно-заводск-цемент»	ОАО «Сухо-ложск-цемент»		ООО «Горно-заводск-цемент»	ОАО «Сухо-ложск-цемент»
Выбросы диоксида углерода от производства цемента					
M, т	1 578,000	1 407,000	M, т	1 578,000	1 407,000
EF _{CO₂} , т CO ₂ / ед.	0,510	0,510	EF _{CO₂} , т CO ₂ / ед.	0,520	0,520
OF, доля	1,000	1,000	CF	1,000	1,000
F'	7,890	7,035			
E _{CO₂} ^{произв.} , т	813,065	724,865	E _{CO₂} ^{произв.} , т	820,580	731,640
Выбросы диоксида углерода от сжигания топлива					
FC, т у.т.	271,500	192,987	M, т у. т.	271,500	192,987
EF _{CO₂} , т CO ₂ /тыс. м ³	1,590	1,590	K ₁	0,995	0,995
OF, доля	1,000	1,000	ТНВ	33,780	33,780
			K ₂	15,040	15,040
E _{CO₂} ^{сжиг.} , т	431,685	306,849	E _{CO₂} ^{сжиг.} , т	503,290	357,740
E _{CO₂} ^{сумм} , т	1 244,75	1 031,714	E _{CO₂} ^{сумм} , т	1 323,87	1 089,39

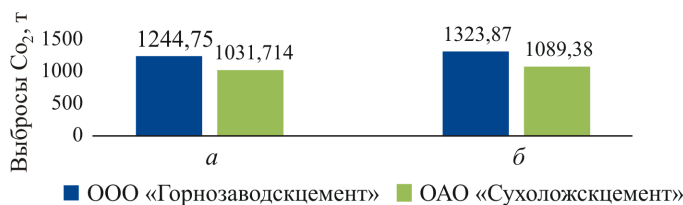


Рис. Сравнение выбросов CO_2 , рассчитанных по методикам:
а – МУ МПР 300; б – МГЭИК

Снижение эмиссий CO_2 крайне необходимо, и можно выделить следующие направления по сокращению выбросов диоксида углерода при производстве цемента:

- ♦ переход с мокрого на сухой способ производства цемента;
- ♦ поиск альтернативного топлива для обжига сырьевой смеси;
- ♦ использование промышленных отходов в качестве сырьевого компонента клинкера;
- ♦ установка оборудования для улавливания парниковых газов и пыли.

Перспективными направлениями по сокращению эмиссий CO_2 для рассмотренных цементных заводов являются переход на комбинированный способ производства цемента и использование в составе цементного клинкера техногенных отходов, позволяющих заменить глинистую или частично карбонатную часть шихты, повысить прочность, жаростойкость и морозостойкость цемента и снизить углеродный след цементного производства.

Список литературы

1. Методические указания и руководство по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в РФ, утв. приказом Минприроды России № 300 от 30.06.2015 г.

2. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство цемента. – М.: Бюро НДТ, 2015.

3. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006.

Об авторах

Хусаинова Ксения Аликовна – студент бакалавриата кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: KsuHusainova@yandex.ru.

Батракова Галина Михайловна – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: gmbatrakova@mail.ru.

С.Ю. Чудинов, М.П. Красновских, А.А. Кетов

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ В ЖИДКИЕ ТОПЛИВА МЕДЛЕННЫМ ПИРОЛИЗОМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Значительную долю твердых коммунальных отходов составляют органические отходы, эффективная переработка которых вызывает технологические и маркетинговые затруднения. Рассматривается техническое решение по получению жидких топлив совместным пиролизом под давлением растительного масла и таких типичных видов полимерных отходов, как древесина, полиэтилен высокого давления и отработанные покрышки. Полученные продукты исследованы методом синхронного термического анализа. Показано, что продукты являются высокоэнергетичными жидкими топливами, близкими по теплотворной способности к нефтехимическим углеводородам.

Ключевые слова: жидкие топлива, твердые отходы, пиролиз.

S.Y. Chudinov, M.P. Krasnovskikh, A.A. Ketov

SWELL SOILS UNDERLYING ENGINEERING STRUCTURES

A significant quota of municipal solid waste is organic waste, the effective processing of which causes technological and marketing difficulties. A technical solution for the production of liquid fuels by joint pyrolysis under pressure of vegetable oil and such typical types of polymer waste as wood, high-pressure polyethylene and used tires is being considered. The obtained products were investigated by the method of synchronous thermal analysis. It is shown that the products are high-energy liquid fuels, similar in calorific value to petrochemical hydrocarbons.

Keywords: liquid fuels, solid wastes, pyrolysis.

Вопросы переработки и утилизации твердых коммунальных отходов занимают ключевое положение в стратегии устойчивого развития общества. Однако помимо технологических вопросов переработки различных компонентов твердых коммунальных отходов имеется проблема рентабельности производства, которая, в свою очередь, непосредственно связана с маркетинговыми характеристиками получаемого продукта и возможностью его реализации по рыночным ценам.

Рассмотрение морфологического состава твердых коммунальных отходов приводит к заключению, что значительная их

часть представляет собой горючие материалы и может быть сожжена с получением тепловой энергии тем или иным способом. Например, по данным авторов [1], доля макулатуры составляет 22,8 масс. %, полимеров 15,2 масс. % и древесины около 1 масс. %. При этом содержание полимеров ежегодно увеличивается на 6,4 %, макулатуры на 6,8 %. Таким образом, горючие материалы составляют почти половину всей массы твердых коммунальных отходов и имеют тенденцию к увеличению доли.

На этом фоне вполне обоснованным выглядит строительство мусоросжигающих заводов и производство топливных гранул РДФ (refuse derived fuel) как альтернативного твердого топлива в соответствии с ГОСТ Р 55127-2012. Несмотря на очевидные преимущества энергетического пути утилизации горючих компонентов ТКО по сравнению с захоронением на полигонах, несомненными недостатками метода являются сложность очистки твердофазных материалов от токсичных примесей, например тяжелых металлов, а также низкая теплотворная способность такого топлива в сравнении с минеральными видами горючего.

Ранее было установлено, что медленный пиролиз полиэтилена высокого давления (ПВД) в присутствии кислородсодержащих соединений при температурах $520 \div 600$ °С и давлении $2 \div 8$ МПа приводит к образованию жидких продуктов с высоким энергетическим потенциалом [2]. Показано, что высокотемпературный крекинг органических соединений в присутствии кислородсодержащих соединений происходит по радикальному механизму с конечным обогащением газовой фазы простейшими кислородсодержащими соединениями в виде воды и углекислого газа, а жидкая фаза обедняется кислородом. В результате, в соответствии с формулой Менделеева [3], энергетическая ценность получаемого жидкого топлива возрастает.

В настоящем исследовании была поставлена задача получения из типичных органических компонентов ТКО, таких, как ПВД, древесина и отработанные покрышки, высокоэнергетического жидкого топлива методом высокотемпературного пиролиза под давлением. В качестве кислородсодержащего донора радикалов применяли льняное масло. Задачей исследования было выявить возможность крекинга органических отходов в условиях сопиролиза с растительным маслом до низкокипящих углеводородов с высокой теплотой сгорания.

Пиролиз проводили в стальной реторте с внешним нагревом. Давление в реакторе создавалось продуктами пиролиза. После охлаждения реторту вскрывали, и продукты анализировали термогравиметрически в токе инертного аргона и в воздухе.

В качестве образцов ТКО применяли гранулы вторичного ПВД и опил. Образцы ТКО сушили при 100 °С и смешивали в отношении 1:1 (масс.) с льняным маслом.

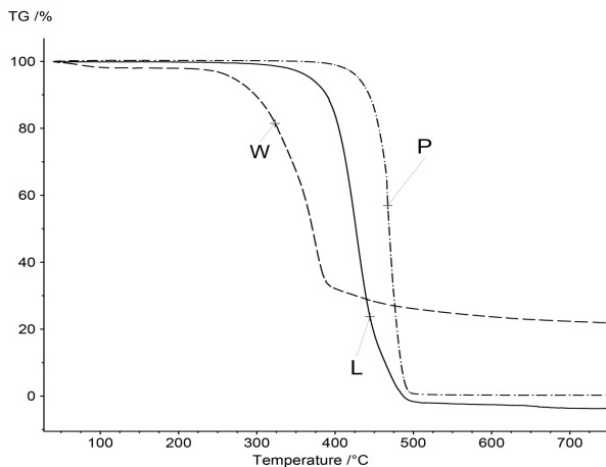
Синхронный термический анализ проводили с помощью устройства STA 449 F1 для синхронного термического анализа (NETZSCH-Gerätebau GmbH, Selb, Германия). Скорость нагрева во всех экспериментах составляла 20 °С в минуту. Скорость потока газа-носителя 40 мл/мин. Полученные данные были обработаны с помощью соответствующего программного обеспечения NETZSCH Proteus.

Медленный пиролиз под давлением при 590 °С в течение 20 минут приводит к повышению давления в реакторе до 7 МПа. Полученные продукты после охлаждения до комнатной температуры представляют собой густые черные жидкости с характерным запахом нефтепродуктов. На рисунке представлены термогравиметрические кривые образцов в инертной атмосфере.

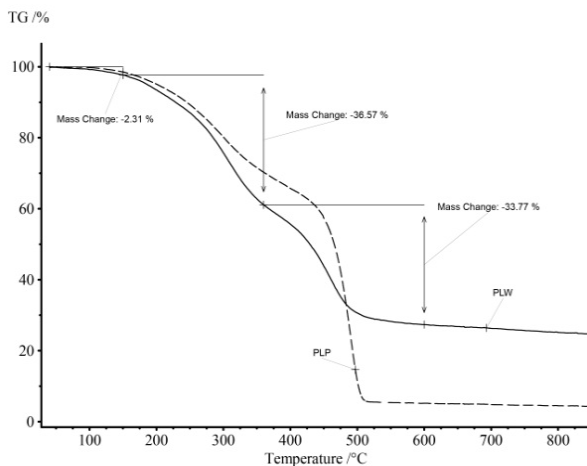
В рамках задачи по получению жидкого топлива предполагается, что продукт пиролиза будет состоять из множества отдельных веществ, поэтому перегонка будет проходить в широком диапазоне температур, аналогичном перегонке минеральных нефтепродуктов. Для определения качественного состава полученного жидкого топлива по результатам термогравиметрии предлагается определять долю низкокипящих углеводородов, испаряющихся до 150 °С, в каждом образце полученного жидкого топлива по термогравиметрической кривой (TG) в аргоне. Эта жидкая фракция примерно соответствует легкокипящей бензиновой фракции, в дальнейшем обозначается как F_L (%). В условиях нефтепереработки средняя фракция, включающая керосин и дизельное топливо, перегоняется при температурах 150–360 °С. В исследовании количество средней фракции, испаряющейся в данном диапазоне температур, обозначается как F_M (%). Пироуглерод, остающийся после испарения всех компонентов, обозначается как F_C (%).

Для количественного определения фракционного состава жидкого топлива по результатам термогравиметрии в аргоне для каждого образца были определены доли четырех фракций, обра-

зовавшихся в процессе перегонки: легкая F_L , средняя F_M , тяжелая F_H и пироуглеродная F_C . Для термогравиметрической кривой PLW представлена визуализация расчета фракционного состава образцов.



a



б

Рис. Термогравиметрические кривые образцов в аргоне: *a* – сырье: L – льняное масло, W – древесный опил, P – ПВД; *б* – продукт пиролиза: PLW – льняное масло и древесный опил, PLP – льняное масло и ПВД

Низшая теплота сгорания определялась путем интегрирования площадей пиков дифференциальной сканирующей калориметрии при синхронном термическом анализе в воздухе. Результаты фракционного состава исследованных образцов и определенная для них величина низшей теплоты сгорания представлены в таблице.

Характеристики сырья и продуктов пиролиза

Образец	F_L	F_M	F_H	F_C	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
L	0,09	3,67	96,26	0,00	12,91
W	1,40	35,63	42,76	20,21	11,65
P	0,15	1,14	97,68	1,03	23,30
PLP	1,45	28,24	65,10	5,21	13,81
PLW	2,31	36,57	33,77	27,35	18,05

Примечание: L – льняное масло, W – древесный опил, P – полиэтилен ПВД, PLP – льняное масло и ПВД, PLW – льняное масло и древесный опил.

Очевидно, совместный пиролиз под давлением природных и синтетических полимеров как компонентов ТКО приводит к получению высокоэнергетических жидких продуктов, аналогичных по термодинамическим свойствам природным нефтепродуктам.

Таким образом, совместный пиролиз природных и синтетических полимеров в присутствии растительного масла приводит к крекингу полимерных молекул до уровня олигомеров в форме жидких углеводородных продуктов. Процесс пиролиза сопровождается ростом энергетической ценности продуктов вследствие удаления кислородсодержащих соединений в газовую фазу.

Список литературы

1. Тенденции и закономерности изменения норм накопления, состава и свойств ТБО / Г.В. Ильиных, Ю.В. Завизион, Н.Н. Слюсарь, В.Н. Коротаев // Экология и промышленность России. – 2013. – № 10. – С. 22–25.
2. Baseline Data of Low-Density Polyethylene Continuous Pyrolysis for Liquid Fuel Manufacture / A. Ketov, N. Sliusar, V. Bosnic [et al.] // Recycling. – 2022. – № 7. – Р. 2.

3. Ioelovich M. Comparison of Methods for Calculation of Combustion Heat of Biopolymers // American Journal of Science, Engineering and Technology. – 2016. – Vol. 1, № 2. – P. 63–67.

Об авторах

Чудинов Сергей Юрьевич – директор ООО «Буматика», e-mail: s.chudinov@internet.ru.

Красновских Марина Павловна – кандидат технических наук, ст. преподаватель, Пермский государственный национальный исследовательский университет, e-mail: krasnovskih@yandex.ru.

Кетов Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alexander_ketov@mail.ru.

М.Е. Чужба, А.В. Цыбина, Е.С. Белик

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УЧЁТА И КОНТРОЛЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

В статье поднимается актуальный вопрос подбора оборудования для учета и контроля парниковых газов. Авторами проведён анализ российского рынка газоанализаторов и выбраны наиболее подходящие для контроля концентрации парниковых газов на заводах по сформулированным критериям – доступность в Российской Федерации, функционал, стоимость.

Ключевые слова: парниковые газы, мониторинг парниковых газов, инструментальные методы контроля парниковых газов, учёт и контроль парниковых газов, газоанализаторы, Российская Федерация.

M.E. Chuzhba, A.V. Tsybina, E.S. Belik

ANALYTICAL REVIEW AND RATIONALE FOR THE CHOICE OF EQUIPMENT FOR ACCOUNTING AND CONTROL OF GREENHOUSE GASES

The article raises the topical issue of the choice of equipment for accounting and control of greenhouse gases. The authors analyzed the Russian market of gas analyzers and selected the most suitable ones for monitoring the concentration of greenhouse gases at plants according to the formulated criteria – availability in the Russian Federation, functionality, cost.

Keywords: greenhouse gases, monitoring of greenhouse gases, instrumental methods of monitoring greenhouse gases, accounting and control of greenhouse gases, gas analyzers, Russian Federation

Глобальное потепление климата и сопровождающие его планетарные изменения – одна из первостепенных экологических проблем, напрямую связанная с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере. Средняя мировая температура на Земле увеличилась на 0,85 градуса Цельсия в промежуток с 1880 по 2012 г. В период с 1901 по 2010 г. средний уровень моря в мире повысился на 19 см из-за увеличения количества воды в океанах, что вызвано общим потеплением и таянием ледников, и, по прогнозам, к 2065 г. поднимется ещё на 24–30 см [1]. Всё это – следствия увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере.

Создание национальной системы учета и мониторинга выбросов парниковых газов – необходимое условие для смягчения климатических изменений и перехода к устойчивому низкоуглеродному развитию (Распоряжение Правительства Российской Федерации № 716-р от 22 апреля 2015 г. «О Концепции формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в РФ»).

Российские предприятия, перед которыми стоит задача оценки выбросов парниковых газов и составления отчетов, руководствуются в первую очередь двумя документами. Первый документ – Федеральный закон № 296 от 02.07.2021 г. «Об ограничении выбросов парниковых газов», который определяет основы правового регулирования хозяйственной и иной деятельности, сопровождаемой выбросами парниковых газов, и вводит обязанность предприятий предоставлять ежегодную отчетность. Второй – Распоряжение Правительства Российской Федерации № 2979-р от 22 октября 2021 г. «Об утверждении перечня парниковых газов, в отношении которых осуществляется государственный учет выбросов».

В РФ мониторинг парниковых газов осуществляется в отношении следующих газов: углекислый газ, метан, закись азота, гексафторид серы, гидрофторуглероды, а также озон (Распоряжение Правительства Российской Федерации № 2979-р «Об утверждении перечня парниковых газов, в отношении которых осуществляется государственный учет выбросов»).

Руководствам предприятий доступна информация о том, какие газы подлежат оценке, но в нормативных документах мало информации о том, как именно должен проводиться их контроль. Цель статьи – анализ имеющегося оборудования для мониторинга парниковых газов и выбор наиболее приемлемого для использования на предприятиях.

Главным оборудованием для измерения парниковых газов являются газоанализаторы. Газоанализатор – это специальное устройство, предназначенное для обеспечения мониторинга содержания газов в атмосфере газоиспользующих объектов [2].

Одним из главных признаков классификации газоанализаторов является их конструктивное исполнение, а именно – исполнение в двух видах: стационарном и переносном. От этого зависит не только их внешний вид, но и функционал, стоимость и многое другое.

Для того чтобы выбрать наиболее подходящее оборудование для анализа парниковых газов среди газоанализаторов, были сформулированы следующие критерии:

- ♦ доступность в России (газоанализаторы должны производиться и продаваться на территории нашей страны);
- ♦ функционал (широкая номенклатура анализируемых парниковых газов);
- ♦ стоимость.

Для составления базы газоанализаторов было выбрано пять компаний, выпускающих наибольшее количество данных приборов в России [3]. К ним относятся ФГУП СПО «Аналитприбор» (город Смоленск), ОАО НПО «Химвавтоматика» (город Москва), ЗАО «Спецприбор» (город Тула), ЗАО «Оптэк» и АО «НПП «Электронстандарт» (город Санкт-Петербург).

По результатам анализа российского рынка газоанализаторов нами были отобраны только те газоанализаторы, в перечень определяемых газов которых входит хотя бы один парниковый. Цифры получились следующие. ФГУП СПО «Аналитприбор» – 44 прибора (из 146), АО «НПП «Электронстандарт» – 20 приборов (из 21), ЗАО «Оптэк» – 9 приборов (из 43), ОАО НПО «Химвавтоматика» – 8 приборов (из 48), ЗАО «Спецприбор» такие газоанализаторы не выпускает.

Далее из этого перечня были выделены только те приборы, которые определяют более одного парникового газа. Выбранные приборы и их ключевые характеристики представлены в обзорной таблице, фотографии приборов показаны на рисунке.

Газоанализаторы российских производителей, позволяющие проводить анализ парниковых газов

№ п/п	Оборудование	Производитель	Определяемые газы	Цена, тыс. руб.	Характеристика
1	АНКАТ-7664Микро		CH ₄ , CO ₂	От 41	Переносной
2	Серия ДАК с модификациями		CH ₄ , CO ₂	От 58	Стационарный

Окончание таблицы

№ п/п	Оборудование	Производитель	Определяемые газы	Цена, тыс. руб.	Характеристика
3	ПГА-300		CH ₄ , CO ₂	От 33	Переносной
4	ГИАМ-15М		CH ₄ , CO ₂	От 80	Стационарный
5	Кедр-М		CH ₄ , CO ₂	Информация отсутствует	Стационарный



а



б



в



г



д

Рис. Выбранные газоанализаторы: *а* – АНКАТ-7664Микро; *б* – ДАК; *в* – ПГА-300; *г* – ГИАМ-15М; *д* – Кедр-М

В результате проведенного анализа российского рынка газоанализаторов нами было выделено пять приборов, наиболее удовлетворяющих критериям – стоимости, функционалу и доступности на территории РФ. Производителем трех из пяти приборов являются ФГУП СПО «Аналитприбор». Три газоанализатора являются стационарными, и все пять измеряют концентрации углекислого газа и метана. Определены три основных парниковых газа – метан, углекислый газ и озон, учет которых наиболее востребован. Универсальный прибор, который бы соответствовал выбранным критериям, на российском рынке отсутствует.

Список литературы

1. Цели в области устойчивого развития ООН. Цель 13: Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/climate-change> (дата обращения: 04.02.2022).
2. Яковлев В.Н. Системы контроля загазованности. Газоанализаторы и запорные клапаны // Форум молодых ученых. – 2020. – № 2 (42). – С. 431–434.
3. Полный список компаний по производству газоанализаторов [Электронный ресурс]. – URL: <https://all-pribors.ru/groups/gazo-analizatory-50> (дата обращения: 04.02.2022).

Об авторах

Чужба Максим Евгеньевич – студент бакалавриата кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: chuzhba2016@yandex.ru.

Цыбина Анна Валерьевна – старший преподаватель кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: anna.tsybina@gmail.com.

Белик Екатерина Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: zhdanova-08@mail.ru.

Д.А. Шадрина, Е.С. Ширинкина

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В РОССИИ

В работе выполнен анализ основных направлений снижения углеродного следа целлюлозно-бумажных производств, представлены рекомендации по минимизации прямых выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, углеродный след, декарбонизация.

D.A. SHADRINA, E.S. SHIRINKINA

BASIC PATHWAYS OF PULP AND PAPER MILLS DECARBONIZATION IN RUSSIA

The paper analyzes the main pathways for reducing the carbon footprint of pulp and paper industries, presents recommendations for minimizing direct greenhouse gas emissions.

Keywords: pulp and paper industry, carbon footprint, decarbonization.

Целлюлозно-бумажная промышленность является одной из наиболее развитых отраслей народного хозяйства РФ. Производственный процесс целлюлозно-бумажных предприятий является ресурсо- и энергоемким, что в современных условиях истощения первичных природных ресурсов и глобального изменения климата обуславливает актуальность разработки мероприятий по декарбонизации отрасли.

Декарбонизация отрасли также актуальна в связи с принятием Федерального закона № 296-ФЗ от 02.07.2021 г. «Об ограничении выбросов парниковых газов», целью которого является создание условий для устойчивого и сбалансированного развития экономики России при снижении уровня выбросов парниковых газов. В соответствии с Федеральным законом № 296-ФЗ от 02.07.2021 г. в России с 2022 г. начинает действовать система государственного учета выбросов парниковых газов, устанавливаются целевые показатели сокращения эмиссии парниковых газов, планируется осуществление

поддержки деятельности по сокращению выбросов и увеличению поглощения парниковых газов. Кроме того, при сохранении экспорта целлюлозы на Европейский рынок продукция будет подвергаться дополнительному налогообложению с учетом объема парниковой эмиссии, сопровождающей процесс производства ввозимых в Европу товаров [1].

В связи с этим компаниями активно ведется деятельность по разработке климатических стратегий, составлению отчетов о выбросах парниковых газов, разрабатываются мероприятия по снижению углеродного следа технологических процессов.

Целлюлозно-бумажными предприятиями России осуществляется производство широкого перечня картонно-бумажной продукции и целлюлозы с использованием как первичного, так и вторичного сырья [2]. По данным Отчета о выбросах парниковых газов АО «Архангельский ЦБК» за 2020 год, при составлении реестра парниковых газов учитываются прямые выбросы парниковых газов технологических процессов, энергетические косвенные выбросы, связанные с производством энергии, используемой в технологических процессах, прочие косвенные выбросы, связанные с производством сырья, топлива, химикатов, вовлекаемых в технологический процесс [3].

Снижение прямых выбросов может быть реализовано за счет модернизации производств путем внедрения современного оборудования, максимального вовлечения вторичного сырья в виде макулатуры в технологический процесс, применения систем удержания волокна, энергетической утилизации образующихся древесных отходов с рекуперацией тепловой энергии, что также позволит частично снизить количество потребляемой энергии из сети. При этом образующиеся отходы могут быть использованы в качестве сырья для производства продуктов с добавленной стоимостью, что предотвратит их размещение в окружающей среде и, как следствие, исключит образование эмиссий метана и углекислого газа при их разложении на объектах захоронения (рисунок).

Таким образом, декарбонизация целлюлозно-бумажной отрасли России позволит не только снизить углеродный след производств, но и обеспечит снижение техногенной нагрузки на объекты окружающей среды в целом. Низкоуглеродное производство цел-

люлозно-бумажной продукции повысит ее конкурентоспособность на мировом рынке.

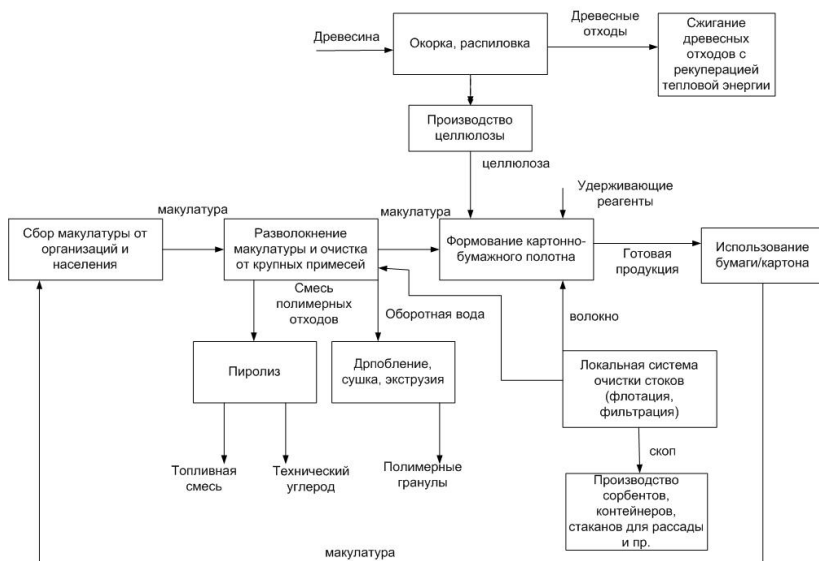


Рис. Общие направления в области снижения прямых выбросов парниковых газов целлюлозно-бумажного производства

Список литературы

1. Кузминых Ю.В. Влияние трансграничного углеродного налогообложения на финансовые результаты целлюлозно-бумажных предприятий России // Ученые записки Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. – 2021. – № 1 (77). – С. 42–45.
2. РАО «БУМПРОМ». Отрасль в цифрах [Электронный ресурс]. – URL: <https://bumprom.ru/upload/files/tsbp-po-itogam-2020.pdf> (дата обращения: 01.03.2022).
3. Отчет о выбросах парниковых газов АО «Архангельский ЦБК» за 2020 год [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.appm.ru/upload/iblock/b32/b32bb387ae550524e80c3008446eb331.pdf> (дата обращения: 01.03.2022).

Об авторах

Шадрина Дарья Андреевна – бакалавр кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: dashaskvor.2015@gmail.com.

Ширинкина Екатерина Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: Shirinkina.es@mail.ru.

А.Л. Шатаева, И.Н. Ташкинова

**ОЦЕНКА ЭМИССИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРОИЗВОДСТВА
АММИАКА И ВЫЯВЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗРАБОТКИ
И РЕАЛИЗАЦИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ**

Рассмотрены предприятия-производители азотных удобрений в Пермском крае. На примере одного из крупнейших производителей азотных удобрений региона выполнен сбор данных о материальных потоках производства аммиака. Рассчитаны эмиссии парниковых газов, проанализирована технология производства аммиака. Полученные данные позволили предложить направления реализации зеленых проектов, направленных на снижение эмиссий парниковых газов на рассмотренном производстве.

Ключевые слова: углеродное регулирование, азотные удобрения, зеленые проекты, углеродная эффективность предприятий, аммиак, Пермский край.

A.L. Shataeva, I.N. Tashkinova

**ASSESSMENT OF GREENHOUSE GASES EMISSIONS FROM
AMMONIA PRODUCTION AND IDENTIFICATION OF DIRECTIONS FOR
THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF CLIMATE PROJECTS**

The enterprises-manufacturers of nitrogen fertilizers in the Perm region were considered. On the example of one of the largest producers of nitrogen fertilizers in the region the data of the material flows of ammonia production were collected. Greenhouse gas emissions have been calculated, ammonia production technology has been analyzed. The obtained data made it possible to propose directions for the implementation of green projects aimed at reducing greenhouse gas emissions in the considered production.

Keywords: carbon regulation, nitrogen fertilizers, green projects, carbon efficiency of enterprises, ammonia, Perm region.

Концепция «зеленого» развития стала важным элементом планирования в государственном управлении и промышленном развитии в России. В 2021 г. Европейской комиссией был утверждён пакет законопроектов, содержащий правовой механизм трансграничного углеродного регулирования (Carbon Border Adjustment Mechanism). Данный механизм устанавливает тариф на выбросы уг-

лерода для импорта в ЕС нескольких групп товаров с наиболее высоким углеродным следом, в том числе минеральных удобрений. По некоторым данным, налог на выбросы углерода для производителей азотных удобрений в России может достигать 40–65 % текущей экспортной стоимости продукции [1]. Актуальна разработка и реализация климатических проектов на предприятиях, производящих наиболее углеродоемкую продукцию, в соответствии с критериями проектов устойчивого (в том числе зелёного) развития в РФ (Постановление Правительства РФ № 1587 от 21.09.21 г.). В приоритете повышение эффективности использования ресурсов, энергосбережение и сокращение выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов [2].

В Пермском крае находится несколько ключевых производственных объектов по получению азотных удобрений в России (табл. 1) [3, 4]. Выполнен расчет объемов парниковых газов от производства аммиака на одном из ведущих российских предприятий по получению аммиака и азотных удобрений – «Азот» АО «Уралхим», г. Березники. Только здесь производятся высшие алифатические амины, калиевая и натриевая селитры, а также кристаллический нитрит натрия. Завод ежегодно выпускает 1380 тыс. тонн аммиачной селитры, 1200 тыс. тонн аммиака и 540 тыс. тонн карбамида [5].

Т а б л и ц а 1

Предприятия-производители азотных удобрений в Пермском крае

Наименование предприятия	Город расположения	Основные виды производимых азотных удобрений	Максимальная мощность производства, тыс. т/год
Филиал «ПМУ» АО «ОХК «УРАЛХИМ»	г. Пермь	Аммиак	590 [3]
		Карбамид	660,6 [5]
Филиал «Азот» АО «ОХК «УРАЛХИМ»	г. Березники	Аммиак	1200 [5]
		Аммиачная селитра	1380 [5]
		Карбамид	544,95 [3]
		Азотная кислота	1200 [3]
«Чусовские минеральные удобрения»	г. Чусовой	Сульфат аммония	45 [4]

«Азот» АО «Уралхим» применяет технологию производства аммиака из природного газа в однолинейном агрегате на базе парового каталитического риформинга в прямоточной трубчатой

печи, вторичного паровоздушного риформинга с отделением очистки и подготовки синтезгаза, с синтезом аммиака под давлением 210–300 атм. по циркуляционной схеме. Сырьем для производства аммиака на «Азот» АО «Уралхим» является природный газ, получаемый из городской газораспределительной сети [5].

Для расчета объемов парниковых газов, образующихся в процессе производства аммиака, собраны данные о материальных потоках производства. В качестве функциональной единицы была принята 1 тонна аммиака. Определены основные входящие и выходящие потоки сырья, материалов, энергоресурсов, эмиссий с парниковым эффектом на 1 тонну продукции (табл. 2).

Таблица 2

Материальные потоки при производстве 1 тонны аммиака
(«Азот» АО ОХК «Уралхим», г. Березники) [3]

Входящие потоки			Выходящие потоки		
Наименование	Единица измерения	На 1 т аммиака	Наименование	Единица измерения	На 1 т аммиака
Природный газ	м ³	1275	Аммиак	т	1,0
Азот	м ³	38	Выбросы NOx	кг	1,86
Электроэнергия	кВт·ч	159			
Подпиточная вода	м ³	3,65	Выбросы CO	кг	1,45

Расчет углеродного следа производства аммиака на рассматриваемом предприятии выполнен в соответствии с методическими указаниями, утвержденными в России (Приказ Минприроды РФ № 300 от 30 июня 2015 г.). Согласно данному документу, обязательному учету на производстве аммиака подлежит такой парниковый газ, как диоксид углерода (CO₂). Установлено, что в год производство образует 2,433 млн тонн CO₂. Согласно расчетным данным, на 1 тонну аммиака приходится 2,027 т CO₂, что удовлетворяет требованиям критериев проектов устойчивого (в том числе зелёного) развития в РФ – совокупный выброс ниже 2,104 тонны CO₂ на 1 тонну аммиака. Но для уточнения величины совокупного выброса требуется более детальное рассмотрение источников электроэнергии, а также анализ косвенных выбросов CO₂ на 1 тонну аммиака.

Важно отметить, что по результатам анализа данных выявлено, что на предприятии отсутствует поток CO₂, извлеченного для

дальнейшего использования в качестве сырья для получения товарной продукции. Также установлено, что в результате последних мероприятий удалось снизить расход природного газа до 1250 м³ на тонну аммиака. В дальнейшем планируется снизить расход природного газа до уровня 1100 м³ на тонну аммиака, что позволит снизить годовой объем CO₂ на 333,9 тыс. тонн.

По результатам оценки выбросов CO₂, а также согласно анализу технологии и данным об основных материальных потоках получения аммиака, выявлены основные направления разработки зеленых проектов, позволяющие снизить углеродный след от производства аммиака на рассмотренном предприятии:

1) переработка извлеченной фракции CO₂ (например, вовлечение в процесс производства карбамида для создания защитной среды при сварке металлов, для сушки литейных форм, для пожаротушения);

2) разработка и внедрение технологий, позволяющих снижать потребление сырья при производстве аммиака (например, установка выделения горючих газов из фракции CO₂ в отделении очистки от CO₂, реконструкция компрессора синтезгаза и паровой турбины).

Список литературы

1. Углеродный след «зелёной повестки» // Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2021 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cdu.ru/tek_russia/articles/2/917/ (дата обращения: 08.03.2022).

2. Лясковская Е.А., Григорьева К.А. Формирование «зеленой» экономики и устойчивость развития страны и регионов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент, 2018. – С. 15–22.

3. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям 2-2019 «Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот», 2019 [Электронный ресурс]. – URL: <http://burondt.ru/index/its-ndt.html> (дата обращения: 08.03.2022).

4. «Чусовские минеральные удобрения» вышли на проектную мощность // FertilizerDaily, 2020 [Электронный ресурс]. – URL:

<https://www.fertilizerdaily.ru/20201126-chusovskie-mineralnye-udobreniya-vyshli-na-proektnuyu-moshhnost/> (дата обращения: 09.03.2022).

5. Годовой отчет АО ОХК «УРАЛХИМ» – 2015, утв. 30 июня 2016 г. – 167 с.

Об авторах

Шатаева Анна Левитановна – студент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: shataeva_anka@mail.ru.

Ташкинова Ирина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: i.tashkinova@yandex.ru.

В.А. Шахлин, Э.Х. Сакаева

ВЛИЯНИЕ КРЕОЗОТА НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ

Представлена краткая характеристика креозота каменноугольной смолы. Рассмотрен химический состав креозота на конкретном примере. Описаны примеры воздействия на микроорганизмы и ферментативную активность почв.

Ключевые слова: креозот, каменноугольная смола, загрязнение почв.

V.A. Shakhlin, E.H. Sakaeva

INFLUENCE OF CREOSOTE ON THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOILS

A brief description of the coal tar creosote. The chemical composition of creosote on a specific example. Examples of impact on microorganisms and enzymatic activity of soils.

Keywords: creosote, coal tar, soil pollution.

Актуальность проблемы влияния креозота на биологические организмы и окружающую среду высока. Это утверждение подтверждается тем фактом, что для этого вещества не разработаны как предельно допустимая концентрация, так и ориентировочно безопасный уровень воздействия. Чаще всего методические указания относят его к фенолу, присваивая таким образом 2-й класс опасности – высокоопасные вещества.

Креозот – категория углеродосодержащих химических веществ, используемых в качестве консервантов и антисептиков, которые образуются в результате перегонки и пиролиза различных смол и материалов растительного происхождения. Так, например, основными видами, признанными в промышленности, являются креозот каменноугольной смолы и креозот древесной смолы, получаемые из соответствующего сырья. Известны также креозоты нефтяной смолы, буроугольный, торфяной смолы и прочее. В этой статье мы рассмотрим креозот каменноугольной смолы, как обладающий более высокими токсическими свойствами и получивший наибольшее распространение благодаря его обширному применению в качестве консерванта древесины для её последующего использования в промышленности (железнодорожные шпалы, сваи, линии электропередач и так далее).

Химический состав каменноугольного креозота многообразен и включает в себя более 100 позиций, некоторые из которых не удастся идентифицировать ввиду чрезвычайно малой концентрации. Основу составляют следующие группы: ароматические углеводороды (до 90 %), фенолы (до 17 %), азотосодержащие, серосодержащие, а также кислородосодержащие гетероциклы (суммарно до 14 %), ароматические амины (до 1 %). Наиболее многочисленные группы – ароматические углеводороды, которая состоит из полициклических ароматических углеводородов, БТЭК (бензолы, толуолы, этилбензолы, ксилолы), а также фенолы (входят фенолы, крезолы, ксиленолы и нафтолы). Для рассмотрения более полного компонентного состава можно обратиться к краткому международному документу по химической оценке «Креозот угольной смолы» [3], за основу возьмем химический анализ, проведенный для креозота по стандарту AWWA P1, и перечислим вещества, составляющие 2 % и более от общего состава в таблице, а также укажем значения предельно допустимых концентраций в атмосферном воздухе максимально разовых, при наличии, в противном случае – ПДК максимально разовую рабочей зоны, при отсутствии таковых информация не указывается.

Компонентный состав креозота стандарта AWWA P1

Вещество	Количество, %	ПДК (ПДК _{мп} / ПДК _{мп.рз.}), мг/м ³
Нафталин	12,9	0,007/20
Фенантрен	11,2	–/0,8
Аценафтен	5,8	–/10
Флуорен	4,6	–
Флуорантен	4,6	–
2-метилнафталин	4,5	–/20
Пирен	3,7	–/0,03
Дибензофуран	3,7	–
Метилфлуорены	3,1	–
Метилфенантроны	3,1	–
Бензофлуорены	2,2	–
1-метилнафталин	2,2	–/20

Основными путями попадания креозота в почвы являются разлив из резервуаров при их повреждении, при транспортировке или перекачке, а также из импрегнированных деревянных конструкций, упомянутых ранее, размещающихся на поверхности зем-

ли. Подобное загрязнение окружающей среды особенно опасно ввиду значительного содержания в структуре креозота полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которые благодаря своей структуре имеют хоть и низкую, но подвижность в почвенной среде и биодоступность для микроорганизмов, а также стабильность, гидрофобность и низкую растворимость в жидких средах. Стоит отметить и влияние креозота на скорость размножения микроорганизмов. В случае *Proteobacteria* – группы бактерий, обитающих как в почвенных средах, так и в организме человека, являющихся в том числе и возбудителем многих болезней, она ускоряется. Замедляется же для *Actinobacteria* и *Bacteroidetes*, которые широко распространены в почвенных структурах и играют важную роль в круговороте веществ. В совокупности этих факторов мы можем наблюдать негативное воздействие креозота на баланс микроорганизмов в почве.

Кроме того, креозот воздействует и на ферментативную активность почв, рассматриваемую через фактор воздействия креозота каменноугольной смолы (импакт-фактор), являющегося отношением содержания ферментов незагрязненной почвы к содержанию в загрязненной. В результате этого сравнения наблюдается снижение концентрации следующих ферментов: дегидрогеназы (катализатора переноса протонов), кислой фосфатазы (освободитель присоединённых фосфорильных групп), ярко выраженное негативное воздействие проявляется на содержание щелочной фосфатазы (дефосфорирующий фермент гидролаза) и уреазы (катализатор гидролиза мочевины). В результате этого можно сделать вывод об отрицательном воздействии креозота на ферментативную активность почв, основную роль в котором, как и в случае с микроорганизмами, играют полициклические ароматические углеводороды ввиду их значительного содержания в структуре креозота и физико-химических характеристик.

Таким образом, можно судить о негативном воздействии креозота каменноугольной смолы на биологическую активность почв. Предотвращение загрязнения почв креозотом является важной задачей ввиду сразу нескольких факторов: многообразный химический состав, сложный в идентификации, однако с ярко выраженной группой ПАУ, которая и приносит наибольшее воздействие, для части из которой не существует нормативов в Российской практике, и осуществляется лишь в сравнении с веществами, наи-

более близкими по компонентному составу; широкая распространенность креозота каменноугольной смолы, используемого в промышленных целях, которая уже в данный момент приводит к загрязнению почв на обширных площадях как Российской Федерации, так и всего мира, альтернативы которому в данный момент не получают массового распространения; негативное воздействие на почвенные среды, которое, кроме того, может проецироваться и на человеческий организм, и на биосферу в целом.

Список литературы

1. Вредные вещества в промышленности: справочник для химиков, инженеров, врачей / ред. Н.В. Лазарев, Э.Н. Левина. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1976. – 1824 с.
2. Effect of rhamnolipids on microbial biomass content and biochemical parameters in soil contaminated with coal tar creosote / A. Telesiński, A. Brito Zambrana, G. Jarnuszewski [et al.] // De Gruyter. – 2019. – № 14. – P. 537–548.
3. Melber Ch., Kielhorn J., Mangelsdorf I. Coal tar creosote. World Health Organization. – Geneva, 2004. – P. 149.

Об авторах

Шахлин Виктор Андреевич – студент бакалавриата кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: vshakhlin@mail.ru.

Сакаева Эльвира Хабировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: elya2182@mail.ru.

Я.Д. Шварцбурд, Е.В. Калинина

БИОУГОЛЬ – СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Биоуголь – новый полезный продукт, получаемый из широкого спектра возобновляемого природного сырья, отходов производства и потребления. В работе представлены результаты теоретического исследования свойств и областей применения биоугля. Установлены сырьевая база для производства биоугля и его характеристики. Определены области применения и технические аспекты использования биоуглей из сырья различного происхождения.

Ключевые слова: биоуголь, возобновляемое топливо, пиролиз биомассы, улучшение качества почвы, цели устойчивого развития (ЦУР).

Y.D. Schwarzburd, E.V. Kalinina

BIOCHAR – PROPERTIES AND APPLICATIONS

Biochar is a new useful product obtained from a wide range of renewable natural raw materials, production and consumption waste. The work presents the results of the theoretical study of the properties and applications of biochar. The raw material base for biochar production and its characteristics are established. The fields of application and technical aspects of the use of biochar from raw materials of different origin are determined.

Keywords: biochar, renewable fuel, biomass pyrolysis, soil quality improvement, Sustainable Development Goals (SDGs).

Биоуголь – пористое углеродистое твердое вещество, образованное в результате термохимического преобразования органического материала в среде с низким уровнем кислорода, с физико-химическими характеристиками, подходящими для безопасного и долгосрочного хранения углерода – изъятия CO₂ от промышленных источников и последующей изоляции от атмосферы – благодаря высокой пористости и наличию множества функциональных групп [1]. Внесение биоугля в почву способствует увеличению водоудерживающей способности, доступности воды для корней растений, что в свою очередь приводит к повышению урожайности. Применение биоугля в растениеводстве повышает его производительность, способствует устойчивому развитию сельского

хозяйства и обеспечения продовольственной безопасности, что обеспечивает достижение второй цели в области устойчивого развития (ЦУР) [2].

Биоуголь получается в результате пиролиза промышленных, бытовых отходов и биомасс различного состава. Пиролиз проводят при температурах 300–900 °C [2] в отсутствие кислорода. В результате нагрева до температур выше термостабильности биомассы образуются более стабильные продукты (биоуголь). Различают быстрый и медленный виды пиролиза. Быстрый пиролиз предполагает нагрев биомассы до 800–1200 °C [3] за короткое время (до нескольких секунд) [1]. Медленный пиролиз реализуют при постепенном нагреве биомассы со скоростью 5–7 °C/мин [1], длительность обработки составляет не менее 24 часов. Технологические параметры процесса пиролиза обосновывают требуемыми характеристиками получаемого продукта.

Биоуголь применяют в металлургии, производстве цемента, нефтеперерабатывающей промышленности в качестве альтернативного и возобновляемого вида топлива, способствующего снижению выбросов таких загрязняющих веществ, как CO₂ и NO_x [3], помимо этого снижение доли биоугля в возобновляемой энергии снижает количество сжигаемых отходов, что способствует достижению доступного и чистого производства энергии (ЦУР 7) [4]. Биоуголь из биомассы и избыточных активных илов биологической очистки сточных вод можно применять в качестве дополнительного удобрения, так как его свойства позволяют улучшать структуру и повышать почвы на плодородие, удерживать питательные вещества, регулировать pH почвы и повышать урожайность. Также биоуголь можно использовать для рекультивации почв и защиты земель от эрозии.

В табл. 1 представлены направления использования биоугля и положительные эффекты от его применения.

В табл. 2 приведены условия производства биоугля из различного исходного сырья и его характеристики, из данных таблицы видна прямая зависимость характеристик продукта от температуры пиролиза.

Таблица 1

Направления использования биоугля [2, 3]

Направление использования	Сырье для получения	Доза внесения	Положительный эффект
Сельское хозяйство	• солома (пшеница) • древесина (сосна)	~15 т/га	Удержание питательных веществ в почве за счет <i>увеличения емкости катионного обмена</i> . Увеличение поглощения: • азота (67,14 кг/га), • фосфора (215 %)
		~20 т/га	• азота (63,42 кг/га), • фосфора (175 %)
		до нейтральной pH	Увеличение продуктивности растений за счет <i>нейтрализации кислых почв</i>
		< 30 т/га	Повышение доступности питательных веществ, эффективности использования азота и ферментативной активности почвы. <i>Увеличение урожайности:</i> • в среднем на 11 %; • бобовые культуры 30 %; • овощи (29 %); • травы (14 %); • кукуруза (8 %); • пшеница (11 %); • рис (7 %)
Природоохранные цели	• солома (пшеница)	2,5 % и 5 %	Сокращение эрозии почвы на 50 и 64 % соответственно за счет увеличения макроагентов и микробной активности
Металлургия	• опил (сосна)	50,6 %	Замена традиционного <i>топлива</i> .
	• древесина (тополь)	67,3 %	Снижение выбросов углекислого газа из печей за счет увеличения доли возобновляемой энергии
	• солома (пшеница)	65,7 %	
Производство цемента	• макулатура	Замена ископаемого топлива	Снижение выбросов CO ₂ за счет использования альтернативного топлива:
		1,65 × 10 ⁵ тонн для производства	–30 кг CO ₂ /т клинкера
	• избыточные или биологической очистки сточных вод	1,5 × 10 ⁶ клинкера/год	–29 кг CO ₂ /т клинкера
	• опилочная пыль	на смесь 70 % петкокса и 30 % биоугля	–28,5 кг CO ₂ /т клинкера

Таблица 2

Характеристики биоугля в зависимости от условий пиролиза [2]

Исходное сырье	Температура пиролиза, °С	Выход, %	Зола, %	pH	C, %	H, %	O, %	N, %	Площадь поверхности, м ² г
Пшеница (солома)	400	34,0	9,7	9,1	65,7	4,05	–	1,05	4,8
Пшеница (солома)	525	–	12,7	9,2	74,4	2,83	–	1,04	14,2
Сосна (древесина)	700	–	38,8	6,6	95,3	0,82	3,8	0,12	29,0
Сосна (опил)	100	99,8	1,2	–	50,6	6,68	42,7	0,05	1,6
Сосна (опил)	700	22,0	1,7	–	92,3	1,62	6,0	0,08	347,0
Тополь (древесина)	400	32,0	3,5	9,0	67,3	4,42	–	0,78	3,0
Тополь (опил)	700	–	20,23	9,72	77,07	1,08	19,68	2,17	–

Таким образом, можно сделать вывод о том, что биоуголь является недорогостоящим и перспективным сырьем, которое можно использовать в различных направлениях, в некоторых из них переход на альтернативный вид топлива может помочь в вопросах декарбонизации, что на сегодняшний день является достаточно важным, кроме того, снижение парниковых газов поможет уменьшить глобальное потепление и будет способствовать достижению задач, диктуемых ЦУР 13 (действия в области климата) [4]. Перспективность использования привлекает все больше внимания, но свойства биоугля по-прежнему недостаточно хорошо изучены, что требует дальнейших исследований в этом направлении.

Список литературы

1. A Review of its History, Characteristics, Factors that Influence its Yield, Methods of Production, Application in Wastewater Treatment and Recent Development / K. Nur Salsabila, A.D. Farrah, H. Masitah [et al.] // Biointerface Research in Applied Chemistry. – 2022. – Vol. 12, Iss. 6. – P. 7914–7926. [Electronic resource] <https://doi.org/10.33263/BRIAC126.79147926> (date of access 04.02.2022).

2. Kumar A., Bhattacharya T. Biochar: a sustainable solution // Environment, Development and Sustainability. – 2021. – № 23. – P. 6642–6680. [Electronic resource] <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00970-0> (date of access 04.02.2022).

3. Tsiligiannis A., Tsiliyannis Ch. Oil refinery sludge and renewable fuel blends as energy sources for the cement industry // Renewable Energy. – 2020. – Vol. 157. – P. 5570. [Electronic resource] <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.129> (date of access 04.02.2022).

4. United Nations: department of economic and social affairs: [Electronic resource] <https://sdgs.un.org/goals> (date of access 04.02.2022).

Об авторах

Шварцбурд Ярослав Дмитриевич – студент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: qwuiх@yandex.ru.

Калинина Елена Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kalininaelena1@rambler.ru.

Е.И. Шилова, Э.Х. Сакаева

ХАРАКТЕРИСТИКА АКТИВНОГО ИЛА С БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Приведена характеристика активного ила с биологических очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия по гидробиологическим показателям.

Ключевые слова: биологические очистные сооружения, очистка сточных вод, активный ил, гидробиологические показатели.

E.I. Shilova, E.K. Sakaeva

CHARACTERISTICS OF ACTIVATED SLUDGE FROM BIOLOGICAL TREATMENT FACILITIES OF AN OIL REFINERY

The characteristics of activated sludge from biological treatment facilities of an oil refining enterprise according to hydrobiological indicators are given.

Keywords: biological treatment facilities, wastewater treatment, activated sludge, hydrobiological indicators.

Проблема охраны окружающей среды требует быстрого внедрения высокоэффективных систем защиты водных объектов от загрязнений. Основным источником загрязнения водных объектов являются сбросы промышленных сточных вод. Проблема их очистки и подготовки воды для технических и хозяйственно-питьевых целей приобретает все большее значение.

В настоящее время биологический метод очистки сточных вод является наиболее универсальным и широко применяемым при обработке стоков, в связи с чем изучение современных технических решений в области очистки сточных вод является актуальным на очистных сооружениях различных предприятий [1, 3].

Нефтеперерабатывающая промышленность является одним из крупнейших загрязнителей окружающей среды. По объемам сброса сточных вод предприятия данной отрасли являются крупнейшими источниками загрязнения водных объектов.

Со сточными водами нефтеперерабатывающих предприятий поступают в поверхностные водные объекты – нефтепродукты, взвешенные вещества, соли, органические соединения, фенолы, аммонийный азот и другие загрязняющие вещества.

Биологическая очистка сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, осуществляется в аэротенках. В них созданы условия для принудительной аэрации сточной воды, чтобы процесс биологического окисления шел наиболее интенсивно. Также биоценоз активного ила обладает способностью реагировать на состав и свойства очищаемых сточных вод и на условия жизнеобеспечения, гарантируемые конструкцией и регулируемые режимом эксплуатации сооружений. Поэтому для характеристики работы сооружений биологической очистки существенное значение имеет микробиологический анализ активного ила.

Данные исследования позволяют расширить знания об эколого-трофических группах микроорганизмов в активном иле аэротенка биологических очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия.

Цель работы – изучение микробного состава активного ила с очистных сооружений производств нефтепереработки.

Материалом для изучения микробиоты очистных сооружений послужили пробы воды с активным илом с очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия.

В активном иле изучали микробный состав по следующим показателям: численность сапрофитных бактерий, численность актиномицетов и микроскопических грибов. Выделение групп микроорганизмов проводили на селективных средах: сапрофиты – мясопептонный агар (МПА), актиномицеты – крахмало-аммиачный агар (КАА) и микроскопические грибы – среда Чапека.

По результатам исследований было получено, что основную долю микроорганизмов в активном иле занимают сапрофитные микроорганизмы, меньшую долю – актиномицеты. Микроскопические грибы из данного активного ила выделены не были.

Кроме изучения микробного состава, были проведены анализы гидробиологического состава активного ила.

Результаты анализов показали, что в активном иле чаще всего встречаются следующие индикаторные организмы: раковинные амёбы р. *Centropyxis*, инфузории р. *Aspidisca*, р. *Vorticella*, р. *Opecularia*, р. *Thuricola* и коловратки р. *Philodina*. На рисунке пред-

ставлены представители активного ила с биологических очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия.

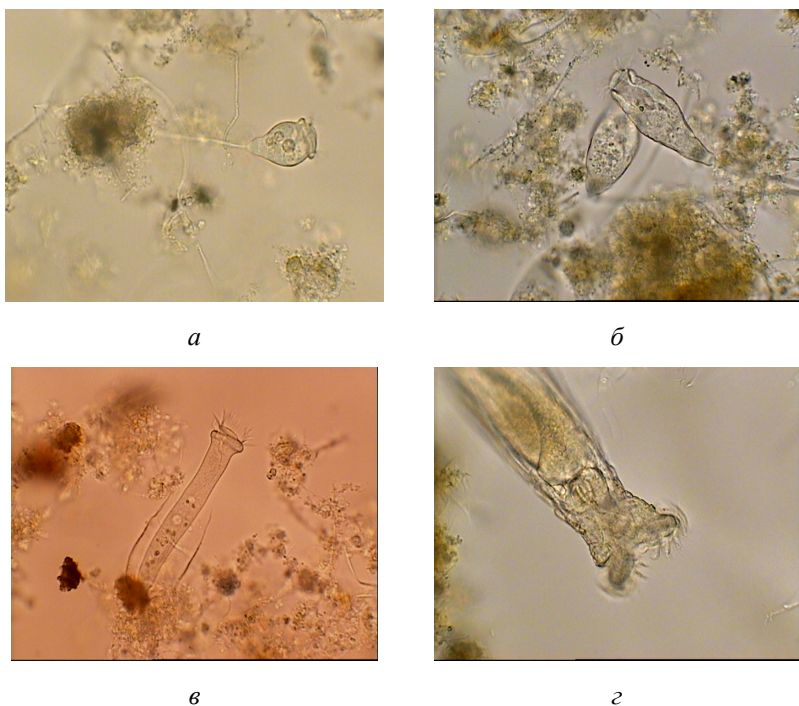


Рис. Представители активного ила с биологических очистных сооружений (ув. 600): а – инфузория р. *Vorticella*, б – инфузория р. *Opercularia*, в – инфузория р. *Thuricola*, г – коловратка р. *Philodina*

По результатам микробиологического и гидробиологического анализа активного ила с биологических очистных сооружений предприятия нефтепереработки было выявлено, что основную роль в окислении загрязняющих веществ осуществляют сапрофитные микроорганизмы и актиномицеты. При равномерной нагрузке активный ил характеризовался разнообразным составом индикаторных гидробионтов, которые присутствуют при хорошей очистке сточных вод на биологических очистных сооружениях.

Список литературы

1. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками [Текст]. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
2. Практикум по микробиологии [Текст] / А.И. Нетрусов, М.А. Егорова, Л.М. Захарчук [и др.]; под ред. А.И. Нетрусова. – М.: Академия, 2005. – 575 с.
3. Зайцева И.С., Зайцева Н.А., Воронина А.С. Методы интенсификации биологической очистки сточных вод в аэротенках [Текст] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 2. – 90 с.

Об авторах

Шилова Екатерина Игоревна – студент магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: shilova.ekaterinka@yandex.ru.

Сакаева Эльвира Хабировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: elya2182@mail.ru.

А.А. Шубина, Г.В. Ильиных

ИНДИКАТОР ЦИРКУЛЯРНОСТИ МАТЕРИАЛОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЕРЕХОДА К ЭКОНОМИКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

В статье рассмотрены актуальные вопросы количественной оценки соответствия жизненного цикла материалов принципам экономики замкнутого цикла. Описаны актуальность, обоснование применения и расчет индикатора циркулярности материалов MCI.

Ключевые слова: индикатор циркулярности, экономика замкнутого цикла, вторичная переработка, отходы.

A.A. Shubina, G.V. Ilinykh

THE CIRCULARITY INDICATOR OF MATERIALS AS AN INDICATOR USED TO ASSESS THE TRANSITION TO A CLOSED-CYCLE ECONOMY

The article deals with topical issues of quantitative assessment of compliance of the life cycle of materials with the principles of circular economy. The relevance, justification of the application and calculation of the material circularity indicator (MCI) are described.

Keywords: circularity indicator, circular economy, recycling, waste.

Нынешнюю экономику можно описать как линейную: первичные материалы берутся из природы, используются для изготовления продуктов, которые затем становятся отходами и захораниваются. Данная модель приводит к увеличению нагрузки на окружающую природную среду. В отличие от линейной, экономика замкнутого цикла – глобальная экономическая модель, направленная на повторное использование, ремонт, восстановление и переработку существующих товаров, материалов и уже имеющихся отходов [1]. Все чаще компании видят огромные возможности в этой модели, поскольку она не только позволяет им получать дополнительную выгоду из своих продуктов и материалов и извлекать ценные компоненты из отходов производства, но и снижать риски, связанные с волатильностью цен и поставками материалов. Для того чтобы производственным компаниям было легче определить, на-

сколько они приближены к замкнутым циклам производства и к экономике замкнутого цикла в целом, нужно произвести количественную оценку имеющихся процессов.

Цель настоящей работы – проведение аналитического обзора методологии расчета индикатора циркулярности материалов и перспектив его использования для оценки перехода к экономике замкнутого цикла.

В настоящее время европейские страны разрабатывают индикаторы, позволяющие определить степень перехода тех или иных производств к модели экономики замкнутого цикла. В перечень данных индикаторов входят: количество потребления производством первичного сырья; утечки из циклов материалов; масса образования отходов и другие [2]. Проблема большинства используемых индикаторов заключается в том, что данные показатели в основном ориентированы на отдельные физические параметры (например, массу отходов) и не отражают циркулярность напрямую.

Однако существует показатель, который оценивает не только материальные потоки материалов, но и учитывает экологические характеристики производственных процессов – индикатор циркулярности материалов (англ. material circularity indicator, MCI), что является неоспоримым преимуществом данного индикатора перед другими. MCI одновременно учитывает продолжительность и интенсивность использования продукта, долю сырья из повторно используемых источников, доля сырья из переработанных материалов, массу безвозвратных отходов и другие аспекты жизненного цикла материала.

Расчет MCI и его обоснование приведены в методологии «Circularity Indicators. An approach to measuring circularity» [1]. Ценность индикатора циркулярности материалов MCI заключается в помощи компаниям понять, насколько далеко они продвинулись в переходе от линейной продукции к циркулярной. Также данный индикатор может использоваться в качестве инструмента по решению о закупках; при разработке новых продуктов для учета цикличности в качестве критерия и входных данных для проектных решений; составлению рейтинга компаний; для составления внутренней отчетности; для оглашения результатов своей производственной деятельности общественности или отдельным организациям [3].

Индикатор циркулярности материалов МСІ показывает, насколько линейен поток материалов, использованных для производства продукта, как долго и интенсивно используется продукт и как происходит утилизация отходов по окончании эксплуатации продукта. Данный индикатор достаточно сложно рассчитывать, но он учитывает практически все фазы жизненного цикла продукции (кроме расчета затраченной энергии и воды на производство продукции) [1]. На практике продукты будут находиться где-то между двумя крайностями («линейный» – «циклический» продукт), и МСІ измеряет уровень цикличности в диапазоне от 0,1 до 1 [2]. Чем больше показатель МСІ, тем выше показатели циркулярности материалов.

МСІ по существу состоит из комбинации трех характеристик продукта: массы V первичного сырья, используемого в производстве, массы W безвозвратных отходов, которые относятся к продукту, и коэффициента полезности X , который учитывает продолжительность и интенсивность использования продукта.

Индикатор МСІ рассчитывается на основе линейного индекса расхода LFI и коэффициента полезности $F(X)$:

$$MSI = LFI \cdot F(X). \quad (1)$$

В свою очередь LFI определяется по следующей формуле

$$LFI = \frac{V+W}{2M + \frac{Wf+Wc}{2}}, \quad (2)$$

где V – масса первичного материала, определяемая по формуле $V = M(1 - F_r - F_u)$; W – общее количество невозполнимых отходов; M – масса готового продукта; Wf – количество отходов, образующихся в процессе переработки, используемых повторно; Wc – количество безвозвратных отходов, образующихся в процессе переработки; F_r – доля сырья из переработанных материалов; F_u – доля сырья из повторно используемых материалов.

Общее количество невозполнимых отходов рассчитывается по формуле

$$W = W_0 + \frac{Wf + Wc}{2}, \quad (3)$$

где W_0 – масса отходов, сбрасываемых на захоронение или сжигание, определяемая по формуле $W_0 = M (1 - C_r - C_u)$, где C_r – масса, собираемая для переработки на этапе окончания использования; C_u – масса, используемая при повторном использовании компонентов.

Количество отходов, образующихся в процессе переработки, определяется по формуле

$$W_f = M \frac{(1 - Ef) \cdot Er}{Ef}, \quad (4)$$

где W_c – количество отходов, образующихся в процессе переработки, определяемое по формуле $W_c = M (1 - E_c) \cdot C_R$, где E_c – эффективность процесса переработки используемого для переработки продукта на этапе окончания использования; C_R – масса продукта, собираемого для переработки в конце фазы его использования; Ef – эффективность процесса переработки, используемого для получения исходного сырья.

Коэффициент полезности $F(X)$ определяется по формуле

$$F(X) = \left(\frac{L}{L_{av}} \right) \cdot \left(\frac{U}{U_{av}} \right), \quad (5)$$

где L – продолжительность фазы использования продукта; L_{av} – среднее значение по отрасли на этапе использования эквивалентного продукта; U – интенсивность использования; U_{av} – средняя по отрасли интенсивность использования [1].

Результаты расчета показателей МСИ по данной методике для некоторых изделий в России и в Евросоюзе представлены на рисунке.

Исходя из данного расчета МСИ, приходим к выводу, что технологии Европейских стран опережают российские по степени циркулярности материалов в производственных процессах.

Таким образом, экономика замкнутого цикла – перспективная экономическая модель, целью которой является решение проблемы истощения природных ресурсов благодаря созданию замкнутых циклов производства. Оценить соответствие отдельных производств принципам экономики замкнутого цикла позволяют различные показатели, среди которых одним из наиболее перспективных является индикатор циркулярности материалов МСИ в силу

того, что учитывает в нем не только отдельные материальные потоки, но также и экологические аспекты.

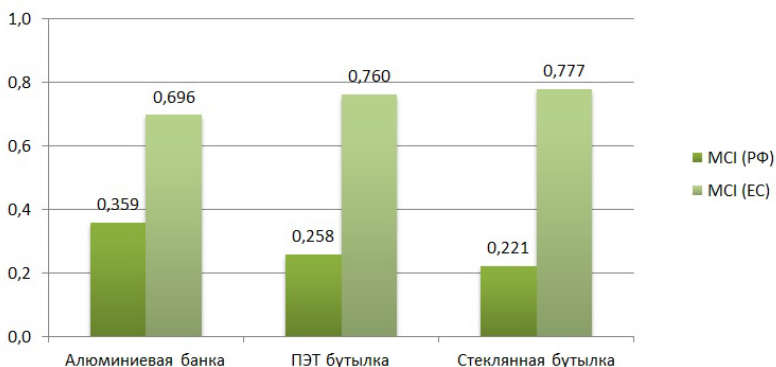


Рис. Доля циркулярности для различных видов упаковки в Российской Федерации и в Европейских странах

Индикатор циркулярности материалов позволяет оценить материал по продолжительности и интенсивности использования продукта, доли сырья из повторно используемых источников, доли сырья из переработанных материалов и другие показатели. Достоинством данного показателя является то, что по заданным параметрам можно сравнивать различные изделия и материалы. Однако для расчета требуется большое количество исходных данных. Повышение циркулярности материалов возможно за счет совершенствования и экологизации технологий производства, сокращения отходов производства и их вовлечения в повторное использование. Увеличение цикличности материалов, в свою очередь, приведет к снижению потребления энергии, используемой для производства сырья и изготовления продуктов, и, как следствие, снижению выбросов углекислого газа.

Список литературы

1. Circularity Indicators. An approach to measuring circularity. Methodology [Электронный ресурс]. – URL: <https://emf.thirdlight.com/link/3jtevhlkbukz-9of4s4/@/preview/1?o> (дата обращения: 21.10.2021).

2. Indicators for a Circular Economy [Электронный ресурс]. – URL: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/summa_indicators_for_a_circular_economy.pdf (дата обращения: 24.10.2021).

3. Гурьева М.А. Анализ методических подходов к оценке развития циркулярной экономики // Журнал по международным экономическим вопросам. – 2019. – № 4. – С. 3159.

Об авторах

Шубина Алиса Алексеевна – студент магистратуры кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alisas2000@mail.ru.

Ильиных Галина Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: galina.perm.59@yandex.ru.

А.Ю. Якунина, Е.И. Панькова, А.О. Сергеева

ПРИМЕНЕНИЕ ESG-КРИТЕРИЕВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СТУДЕНЧЕСКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНИЦИАТИВ В УНИВЕРСИТЕТЕ

Представлена информация об основных критериях ESG. Доказана необходимость применения данных критериев для экологических инициатив. Приведены результаты статистической оценки работы экологической программы «Зеленый Политех» по критериям ESG-стратегии.

Ключевые слова: экологические инициативы, экологическая программа, ESG, ESG-стратегия.

A.U. Yakunina, E.I. Pankova

APPLICATION OF ESG CRITERIA FOR THE IMPLEMENTATION OF STUDENT ENVIRONMENTAL INITIATIVES AT THE UNIVERSITY

Information about the main ESG criteria is presented. The necessity of applying these criteria for environmental initiatives is proved. The results of the statistical evaluation of the work of the environmental program "Green Polytechnic" according to the criteria of the ESG strategy are presented.

Keywords: environmental initiatives, environmental program, ESG, ESG-strategy.

Принятая международной общественностью концепция развития в XXI веке основана на парадигме устойчивости, которая предполагает удовлетворение текущих потребностей людей без вреда для последующих поколений и экосистемы планеты. В 2015 году были приняты Цели устойчивого развития ООН на период 2016–2030 гг. как сбалансированная социо-эколого-экономическая стратегическая система приоритетов для развития общества [1].

В современном рынке труда, чтобы удержаться компании или проекту в рейтинге лучших, нужно иметь оценку «привлекательности» предприятия или ESG – устойчивое развитие коммерческой деятельности. ESG для компаний складывается из решения экологических, социальных и управленческих проблем (рисунок).

Экологические принципы определяют, насколько компания заботится об окружающей среде и как пробует минимизировать вред, который наносится экологии. Социальные принципы показывают отношение компании к персоналу, партнерам и потребителям.

Чтобы соответствовать эталону, компания должна вести работу над качеством условий труда, следить за гендерным балансом либо вкладывать в социальные проекты. Управленческие принципы затрагивают качество управления компаниями.



Рис. Принципы ESG (Environmental, Social and Governance) – окружающая среда, социальная сфера и управление [2]

Современные условия стали требовать от компаний дополнительно к деятельности компаний, кроме финансовой отчетности, оценивать вклад инвестирования в устойчивое развитие. Для этого компания должна демонстрировать не только стабильный рост своих финансовых показателей, но и обладать определённой репутацией. Поддержка ESG позволяет компании повысить свою репутацию и улучшить узнаваемость.

ESG-рейтинг формируют независимые исследовательские агентства — Bloomberg, S&P Dow Jones Indices, JUST Capital, MSCI, Refinitiv и другие. Они оценивают развитие компаний по трем критериям (E, S и G) и присваивают баллы по стобалльной шкале. Единого подхода к формированию рейтинга нет. Все агентства рассматривают открытые материалы о компаниях, но считают баллы по-разному. Следовательно, ESG-рейтинги разных агентств могут сильно различаться.

Методичное введение идей сохранения природы и устойчивого развития стало распространяться в больших масштабах во всех сферах деятельности человека. Благодаря отдельным средствам и методам, используемых в процессе реализации экологических инициатив, человек начинает осознавать значимость личной деятельности по отношению к окружающему миру. Вовлеченность молодежи в реализацию принципов устойчивого развития – один из основных вопросов современности.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет ведет систематическую работу по развитию молодежной политики и ежегодно реализует более двухсот общественно значимых и масштабных социальных проектов. Университет взаимодействует с региональным сообществом, развивает городские территории, проводит волонтерские, культурно-просветительские мероприятия [3].

С 2014 года в Пермском национальном исследовательском политехническом университете реализуется программа «Зеленый Политех», целью которой является содействие развитию научного творчества молодёжи, формирование экологической ответственности у студентов ПНИПУ, осуществления научно-исследовательской деятельности в области устойчивого развития. Участники программы организовали и провели более 50 мероприятий на территории университета, в которых приняло участие более 1500 человек.

В Пермском Политехе проходят научные конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых. Исследования студентов в области устойчивого развития широко представлены на студенческих секциях и в опубликованных трудах конференции. ПНИПУ имеет большой опыт реализации организации мероприятий, направленных на развитие студенческого научного сообщества и обладает большими ресурсами для реализации экологических инициатив в области устойчивого развития.

Пермский Политех поднялся на 13 позиций в мировом рейтинге экологической устойчивости университетов UI Greenmetric, заняв 140 строчку среди зарубежных вузов и 3 среди российских. За 2021 год улучшились показатели по: энергосбережению, мероприятиям по изменению климата, рациональному использованию водных ресурсов, управлению отходами.

С целью изучения вовлеченности целевой аудитории (студенты, молодежь до 30 лет, г. Перми и Пермского края) в реализованные проекты, была сформирована статистика социальных сетей проекта, отражающая интерес к проведенным экологическим проектам. Статистика показала высокий критерий ER (коэффициент вовлеченности аудитории). Также можно отметить увеличение численности самой команды проекта «Зеленый Политех», реализующей экологические инициативы в вузе. Как показала статистика, социальные сети проекта за последнее время сыграли важную роль в экологическом просвещении студентов Пермского Политеха.

Основные критерии ESG-стратегии учтены в Программе развития ФГАОУ ВО «Пермского национального исследовательского

политехнического университета» на 2021–2030 годы, в особенности отражена повестка «нулевых выбросов» и «климатическая нейтральность кампуса».

Для успешной реализации экологических инициатив и введения ESG-стратегии в университете важна высокая степень взаимодействия между всеми заинтересованными сторонами – органами, осуществляющими экологическую и социальную политику, финансовое регулирование и технический надзор; корпоративным и инвестиционным сообществом, институтами развития и институтами гражданского общества.

Список литературы

1. Петренко Л.Д. Корпоративное управление ESG в условиях устойчивого развития // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. Дагестанский государственный университет народного хозяйства. – Махачкала, 10 апреля 2021. – С. 290–295.

2. Хеннинг Д. Вебинар на тему: «Стройный, здоровый и уверенный в себе бизнес сегодня и после COVID-19». – URL: <https://www.bdo.ua/ru-ru/news/2020/all-about-non-financial-solutions-to-strengthen-your-business-immunity> (дата обращения: 10.03.2022).

3. Программа развития ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на 2021–2030 годы. – URL: https://pstu.ru/files/2/file/adm/nauka/2021/Programma_razvitiya_PNIPU__28_12_2021.pdf (дата обращения: 10.03.2022).

Об авторах

Якунина Анастасия Юрьевна – студентка бакалавриата кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: yakunina.anastasia2016@yandex.ru.

Панькова Екатерина Илдусовна – старший преподаватель кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: Pankovaei@pstu.ru.

Сергеева Александра Олеговна – студентка бакалавриата кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: leksandrasergeeva2001@yandex.ru.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

УДК 622.24.053

Т. И. Сахаутдинов, М.В. Песин

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ИЗНАШИВАНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И УСЛОВИЙ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Основой исследования явились нормативно-правовые документы Российской Федерации в области промышленной и экологической безопасности. Аналитический обзор подготовлен на основе систематизации и обобщения зарубежных и отечественных научных публикаций, посвященных проблеме, связанной с разрушением резьбовых соединений бурильной колонны.

Ключевые слова: авария, бурильная колонна, резьба, резьбовое соединение, буровое оборудование.

T. I. Sakhautdinov, M. V. Pesin

STUDY OF THE MAIN TYPES OF WEAR OF THREADED JOINTS OF DRILLING EQUIPMENT AND THEIR OPERATION CONDITIONS

The basis of the study was the regulatory and legal documents of the Russian Federation in the field of industrial and environmental safety. The analytical review was prepared on the basis of systematization and generalization of foreign and domestic scientific publications devoted to the problem associated with the destruction of threaded connections of the drill string.

Keywords: accident, drill string, thread, threaded connection.

Введение

Согласно приказу № 534 от 15 декабря 2020 года «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности “Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности”», нефтяные и газовые скважины, являясь горнотехническими сооружениями, относятся к опасным производственным объектам.

Одним из самых главных рисков для всех вовлечённых в процесс строительства скважин являются аварии, возникающие в процессе бурения, которые могут привести к человеческим травмам и жертвам. Борьба с авариями должна осуществляться до момента их появления, то есть на более ранних стадиях, когда затраты на их ликвидацию и опасность для обслуживающего персонала и окружающей среды минимальны.

Бурильная колонна состоит из большого количества бурильных труб и скважинного инструмента, которые и соединяются между собой коническими резьбами, по сравнению с цилиндрическими резьбами, обладающими важными для условий бурения преимуществами. Натяг, создаваемый при свинчивании конической резьбы, обеспечивает надежную герметизацию стыкуемых элементов бурильной колонны.

Резьбовое соединение является наиболее нагруженным элементом в бурильной колонне и служит причиной возникновения аварии.

Выяснение причин разрушения резьбового соединения представляется весьма актуальным с точки зрения обеспечения промышленной безопасности при бурении скважин.

Результаты анализа

В настоящее время в конструкции резьбовых соединений используется широкая номенклатура резьбовых соединений различного профиля, размеры которых регламентируются соответствующими стандартами.

Как показал анализ зарубежных и отечественных научных публикаций, большинство разрушений резьбовых соединений бурильных труб связано с усталостью.

Усталостное разрушение резьбовых соединений вызвано знакопеременными нагрузками, такими как растяжение, сжатие, изгиб, гидростатическое давление и вибрация, возникающими в бурильных колоннах во время буровых работ. Профиль резьбы создает естественные концентраторы механических напряжений и очаги возникновения усталостных трещин.

Усталостные трещины начинаются с микротрещин, растущих под влиянием переменных напряжений. Скорость роста трещины зависит от величины нагрузки и в определенных условиях может

быть очень высокой. При растяжении в резьбовом соединении возникают радиальные усилия, которые сжимают трубу и стремятся увеличить диаметр муфты.

Также резьбовые соединения выходят из строя в результате износа. Износ вершин профиля резьбы уменьшает их площадь, и при этом величина осевой силы в резьбовом соединении уменьшается, это приводит к снижению плотности стыка. Тогда под воздействием рабочих нагрузок и вибраций возникают условия для частичного сдвига или смещения деталей в резьбовом соединении, снижение плотности которого увеличивает износ резьбы вплоть до начала раскрытия стыка. Износ резьбовых соединений труб происходит вследствие частого развинчивания и свинчивания.

Бурильные трубы работают в агрессивной среде бурового раствора, что также способствует снижению усталостной прочности и вызывает промыв в резьбовом соединении. В резьбовом соединении промыв происходит или по винтовой линии, или по образующей конуса резьбы.

Воздействие агрессивных сред приводит к коррозионному разрушению. Коррозия бурильных труб под воздействием агрессивных сред усиливается эрозией металла, так как буровые растворы содержат песок.

Промыву способствуют неточности изготовления и нарушения технологии сборки резьбового соединения, приводящие к увеличению зазоров.

В процессе сборки неполное ввинчивание ниппеля в муфту и, как следствие, отсутствие плотного контакта между упорным уступом ниппеля и упорным торцом муфты способствует образованию промыва.

Нарезание резьбы является самой ответственной операцией при изготовлении труб нефтяного сортамента. Погрешности в протекании кинематического процесса резбонарезания могут сочетаться с ошибками инструмента и его установки, геометрическими ошибками станка и установки заготовки. Совокупность этих ошибок порождает неточности формы и размеров параметров профиля резьбы. Эти неточности формы и размеров вызывают неравномерное распределение нагрузки на боковых поверхностях профиля и, как следствие, приводят к нарушению герметичности резьбового соединения.

Разрушения резьбовых соединений вызывают и другие причины аварий – низкое качество исходного материала (прочность,

твёрдость, упругость, вязкость, коррозионная стойкость и т.д.), из которого изготовлены бурильные трубы и скважинный инструмент.

Далее следует промыв резьбы и обрыв, что является сложной аварией и требует остановки бурения для ликвидации ее последствий.

Вывод

Процесс развития аварийной ситуации в стволе скважины протекает скрытно, визуальному контролю не поддается и является неуправляемым до момента возникновения аварии, поэтому требуется создания технологических и конструктивных решений, направленных на повышение надежности резьбовых соединений.

Список литературы

1. Приказ № 534 от 15 декабря 2020 г. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности». – 2020.

2. ГОСТ 28487-2018. Соединения резьбовые упорные с замковой резьбой элементов бурильных колонн. Общие технические требования. – М., 2018.

3. Повышение надежности нефтепромыслового и бурового оборудования путем комплексного конструкторско-технологического обеспечения изготовления и сборки резьбовых соединений / М.В. Песин, В.Ф. Макаров, О.А. Халтурин [и др.] // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2021. – Т. 23, № 3.

4. Пути решения проблемы разрушения резьбовых соединений нефтепромыслового и бурового оборудования / М.В. Песин, Д.А. Субботин, М.А. Баева [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. – 2015. – № 4. – С. 18–20.

5. Песин М.В., Федосеева А.В. Анализ причин разрушения резьбы нефтепромыслового и бурового оборудования в осложненных условиях эксплуатации // Научные технологии в машиностроении. – Уфа, 2015. – С. 21–24.

6. Разрушение ниппелей бурильных труб в процессе эксплуатации / А.П. Корчагин, В.В. Климов, Н.В. Барина, А.О. Мурашов // Территория нефтегаз. – 2016. – № 11 ноябрь.

7. Fatigue failure on drilling pipe thread: a case study on drill pipe ss105 / Apriansyah Apriansyah, Hendri Chandra, Diah Kusuma

Pratiwi, Aneka Firdaus // Indonesian Journal of Engineering and Science. – 2020. – Vol. 1, № 1.

8. Liang liang Dong, Xiaohua Zhu, Desheng Yang. Study on mechanical behaviors of double shoulder drill pipe joint thread // Petroleum. – 2019. – № 5. – P. 102e112.

9. Xiaohua Zhu, Dian Lin, Jianan Li. Failure analysis and structure optimization of the connecting thread of driving shaft in positive displacement motor // Advances in Mechanical Engineering. – 2016. – Vol. 8 (6). – P. 1–11.

10. A novel thread connection structure of slimhole drilling tool in ultra-deep natural gas well / Zhang Ying, Lian Zhang hua, Gao Anqil, Yang Kun // Science Progress. – 2021. – Vol. 104 (2). – P. 1–13.

Об авторах

Сахаутдинов Тимур Ильдусович – аспирант кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: m.pesin@mail.ru.

Песин Михаил Владимирович – декан механико-технологического факультета, доктор технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: m.pesin@mail.ru.

Е.С. Макаренков, М.В. Песин

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

В данной статье определены детали, наиболее часто изнашиваемые при проведении работы по перекачке нефтехимической продукции. Предложены основные методы повышения износостойкости труб и штоков. Определено приоритетное направление повышения износостойкости деталей машин.

Ключевые слова: резьба, упрочнение, износостойкость, качество поверхностного слоя, электромеханическая обработка.

E.S. Makarenkov, M.V. Pesin

**DETERMINATION OF ELECTROMECHANICAL TREATMENT
PARAMETERS TO INCREASE RELIABILITY OF PETROCHEMICAL
EQUIPMENT**

This article examines the parts most often worn out in one of the methods of oil production stimulation – hydraulic fracturing. The main methods of increasing the wear resistance of pipes and rods are proposed. The priority effect of increasing wear resistance is determined.

Keywords: thread; hardening; wear resistance, hydraulic fracturing, proppant, electro-mechanical treatment.

При эксплуатации нефтехимического оборудования возникают сложности при ремонте и восстановлении деталей парта трения «вал-подшипник», «вал-манжетное уплотнение» и т.п.

Так, например, наземное оборудование включает насосные и пескосмесительные агрегаты для подготовки и закачки рабочих жидкостей, автоцистерны для доставки жидкостей гидроразрыва, специальную обвязку устья скважины с оборудованием, блок манифольда и различные емкости. Подземное оборудование включает в себя насосно-компрессорные трубы (НКТ) диаметром 89 и 114 мм из стали групп прочности «К», «Е», «Л», «М», «Р», по которым жидкость разрыва подается на забой, и пакер, который

полностью разобщает фильтровую зону скважины от ее вышележащей части.

В другом примере при ГРП в качестве материала рабочего элемента, «расклинивающего» трещины в породе, часто используют песок, алюминий и его сплавы, измельченный кокс, стеклянные шарики, глину и т.д. Наиболее широкое применение нашел песок – как натуральное дешевое сырье. Именно кварцевый песок – материал, распространенный в природе, обладает относительно низкой себестоимостью производства. На его основе создают высококачественные закрепители, которые могут обеспечить высокую проводимость трещин в пласте.

Одной из основных проблем при проведении ГРП является интенсивный износ технологического оборудования. Основными причинами, по которым происходит разрушение и выход из строя оборудования при прокачке проппанта или жидкости с механическими примесями, являются:

- ♦ высокий уровень абразивного износа («размыва»). Процесс эрозионного изнашивания сопровождается увеличением диаметра отверстия проходного канала трубы и технологического оборудования;

- ♦ коррозионная активность, возникающая в результате применения жидкой основы жидкости разрыва воды, пен, соляной кислоты, уголекислоты и т.д. Из-за чего даже коррозионностойкие стали подвергаются разрушению.

В дополнение к этому смесь закачивается в скважину с большим расходом и с высоким давлением. Наиболее часто происходит износ насосов высокого давления, плунжеров насосов и насосно-компрессорных труб (НКТ). В результате этого возникают аварийные ситуации, увеличивается время простоя скважин и снижение добычи.

Для увеличения устойчивости штоков к размыву применяют различные методики, одна из которых – это замена способа упрочнения поверхностного слоя.

Распространённым способом замены термообработки является химико-термическая обработка, например, ионное азотирование, заключающееся в насыщении поверхностного слоя азотом, под действием давления и температуры в газовой среде, и образованием нитридов [1]. При данном виде обработки достигается высокая поверхностная твердость при малой толщине обработанного слоя, что повышает твердость внутренних поверхностей изделия,

увеличивает сопротивление износу, не изменяя при этом прочностных характеристик, также азотирование имеет относительно низкую себестоимость при значительной партии обрабатываемых деталей.

Также одним из способов повышения износостойкости является электромеханическая обработка (ЭМО) – технология поверхностного упрочнения концентрированными потоками энергии, основанная на комплексном термдеформационном воздействии при пропускании электрического тока большой плотности и низкого напряжения через зону контакта детали [2, 3]. В итоге формируется эффективный упрочненный поверхностный слой на глубину 0,2...0,3 мм с повышенной микротвердостью и одновременным поверхностным наклёпом, значительно повышающим износостойкость и сопротивление усталости детали.

Широко известно лазерное упрочнение. Лазерный луч при воздействии на обрабатываемую поверхность детали частично отражается, а остальной поток излучения проникает на глубину. Высокая плотность мощности лазерного излучения позволяет практически мгновенно достигать на обрабатываемой поверхности высоких температур, что приводит к локальной закалке тонкого приповерхностного слоя, обеспечивая высокую твёрдость обработанных участков.

Термодиффузионный способ упрочнения – при этом способе упрочнения применяют энерговыделяющие пасты, которые намазывают на деталь и поджигают. При горении пасты деталь разогревается до температуры 600...800 °С, а легирующие элементы, содержащиеся в пасте, диффундируют (проникают) в верхние слои детали.

Для упрочнения резьб труб НКТ отделочно-упрочняющей обработкой поверхностным пластическим деформированием известны работы ученых и насосного оборудования [2, 4, 5]. Повышение твердости резьб, отверстий и гладких поверхностей показано на рисунке [3]. Однако комплексного применения технологий для упрочнения деталей оборудования ГРП в достаточной степени не было.

Проанализировав различные методы повышения износостойкости оборудования, были проведены исследования по повышению твердости путем электромеханической обработки деталей.

К преимуществам ЭМО над другими способами относятся:

- ♦ отсутствие обезуглероживания поверхностного слоя;
- ♦ повышение износостойкости до 12 раз;
- ♦ увеличение предела выносливости на 30...200 %;
- ♦ закалка длинномерных и маложестких деталей;
- ♦ технологическая простота.

В результате проведенного упрочнения поверхностного слоя деталей, используемых при проведении интенсификации добычи нефти, в частности ГРП, были получены результаты, кратно превышающие базовые значения твердости поверхностного слоя оборудования. Так, в сердцевине значение твердости составило 18...20 HRC, а после проведения упрочнения с помощью ЭМО – 48...68 HRC.

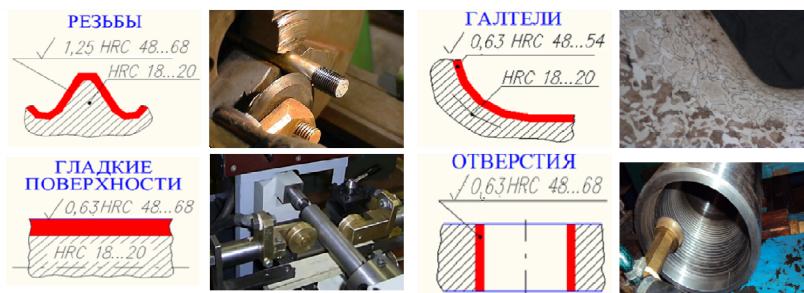


Рис. Повышение твердости резьб, отверстий и гладких поверхностей

На основании данного исследования сделаны следующие выводы:

- ♦ показана актуальность поставленной задачи повышения надежности технологического оборудования, используемого для различных методов интенсификации добычи нефти;
- ♦ выявлены основные элементы системы, требующие упрочнения: отверстия труб НКТ, резьба НКТ, плунжеры насосов для закачки проппанта;
- ♦ выявлены основные эффективные методы повышения износостойкости поверхности деталей;
- ♦ требуются дополнительные исследования в подборе технологических режимов упрочняющей технологии электромеханической обработки.

Список литературы

1. Песин М.В. Научные основы моделирования процесса упрочнения впадины резьбы бурильных труб обкатыванием роликом // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – № 5 (30). – С. 68–70.
2. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. – М.: Машиностроение, 1989. – 200 с.
3. Федоров С.К., Федорова Л.В. Восстановление резьбы электромеханической обработкой // Вестник УлГТУ 1–2. – 2003. – С. 36–39.
4. Pesin M.V. Improving the Reliability of Threaded Pipe Joints. Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, № 2. – P. 210–212.
5. Pesin M.V. Simulation of the Technological Process of the Strengthened Treatment of the Drill Pipes Thread // Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering: Intern. Conf., UTI TPU, December 11–12, 2014, Yurga, Russia. – Durnten-Zurich: TTP, 2015. – P. 476–482. – ([Applied Mechanics and Materials; Vol. 770]).

Об авторах

Макаренков Евгений Сергеевич – аспирант кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: 124makarenkove@mail.ru.

Песин Михаил Владимирович – декан механико-технологического факультета, д-р техн. наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: m.pesin@mail.ru.

**Д.С. Неулыбин, Г.Л. Пермяков, И.А. Масягин,
М.А. Ковтунович, В.О. Красных, Д.А. Макаров**

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОГО ФОРМИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ ПРОВОЛОЧНОГО МАТЕРИАЛА

В работе рассмотрена технология дугового формирования деталей методом наплавки проволочного материала из мартенситностареющей стали. Представлены стратегии заполнения с поперечной осцилляцией 45° и -45° для трехмерной наплавки образца в виде стенки из мартенситностареющей стали.

Ключевые слова: проволочно-дуговое аддитивное производство, холодный перенос металла (CMT), процесс CMT, мартенситностареющая сталь.

**D.S. Neulybin, G.L. Permyakov, I.A. Masyagin,
M.A. Kovtunovich, V.O. Krasnykh, D.A. Makarov**

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR ARC FORMING OF PARTS BY SURFACING OF WIRE MATERIAL FROM MARAGING STEEL

The paper considers the technology of arc formation of parts by surfacing wire material from maraging steel. Filling strategies with transverse oscillation of 45° and -45° are presented for three-dimensional surfacing of a specimen in the form of a maraging steel wall.

Keywords: wire-arc additive manufacturing, cold metal transfer (CMT), CMT process, maraging steel.

Проволочно-дуговое аддитивное производство – это новые технологии, которые являются эффективными для изготовления сложных трехмерных крупногабаритных изделий с точки зрения экономии материалов и времени и позволяют изготавливать изделия слой за слоем непосредственно из файла трехмерной модели. Эти технологии основаны на процессе проволочно-дуговой трехмерной наплавки с подачей присадочного материала – металлической проволоки и с использованием электрического дугового разряда – сварочной дуги в качестве источника тепла (рис. 1).

CMT – это аббревиатура, означающая Cold Metal Transfer (Холодный перенос металла) – процесс, который позволяет осуществлять «холодный» перенос металла при сварке или пайке. При CMT-процессе наблюдается значительно меньший ввод тепла в основной

металл. Процесс СМТ заключается в следующем: изначально дуга горит между проволокой и изделием (рис. 2, *а*), а проволока подается в сварочную ванну до соприкосновения с подложкой; при первом обнаружении короткого замыкания ток снижается до минимально допустимого значения (рис. 2, *б*), в то же время происходит отрыв капли за счет обратного перемещения сварочной проволоки (рис. 2, *в*), а затем возобновляется горение дуги (рис. 2, *г*).

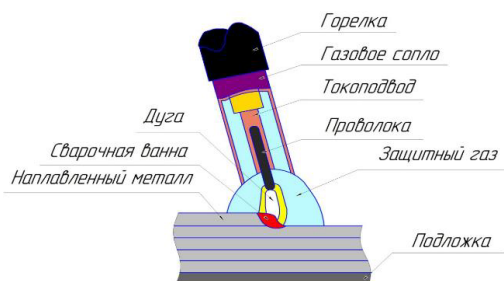


Рис. 1. Схема процесса проволочно-дуговой трехмерной наплавки плавящимся электродом

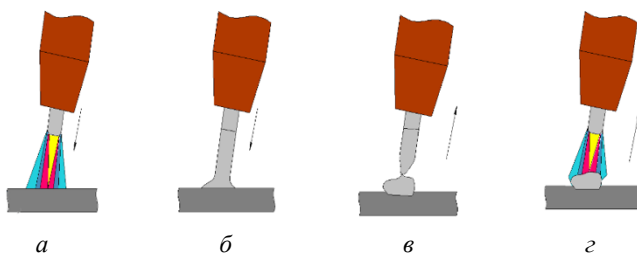


Рис. 2. Основной принцип СМТ-процесса: *а* – дуга горит между проволокой и изделием; *б–в* – отрыв капли за счет обратного перемещения сварочной проволоки; *г* – возобновление горения дуги

Использование процесса СМТ позволяет изменять тепловые режимы, в результате чего возможно получение измельченной микроструктуры. Проволочно-дуговое аддитивное производство, основанное на процессе СМТ, представляет собой систему с высокой скоростью многослойной наплавки для производства деталей, имеющих геометрические параметры, близкие к конечным, с минимальными остаточными напряжениями и деформациями.

Простота изготовления в отоженном состоянии, хорошая стабильность размеров при старении, высокое отношение прочности к весу и отличная свариваемость. Сочетание этих преимуществ делает мартенситностареющие стали привлекательными для различных секторов.

Наплавление стенок чередующимися слоями с поперечной осцилляцией 45° и -45° , такая стратегия заполнения самая нормальная, так как меньше брызг и лучше формируется геометрия наплавляемой стенки (рис. 3).

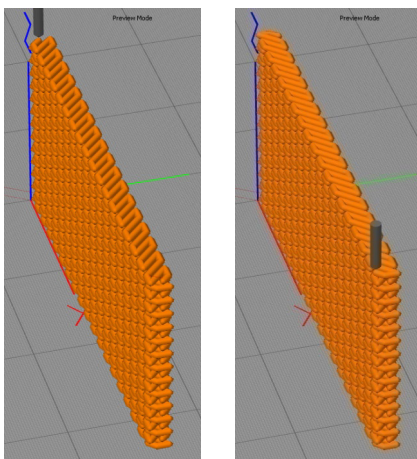


Рис. 3. Стратегия заполнения с поперечной осцилляцией 45° и -45° для трехмерной наплавки образца в виде стенки из мартенситностареющей стали (Св-03Х12Н9М2С)

Образцы наплавлялись по предварительно выбранному оптимальному режиму наплавки: обратная полярность, ток дуги $I_d = 160 \dots 194$ А; напряжение на дуге $U_d = 12,4 \dots 13$ В; скорость подачи проволоки $V_{\text{пл}} = 4,8 \dots 6,2$ м/мин; скорость сварки $V_{\text{св}} = 100 \dots 135$ см/мин; коэффициент длины дуги $K_{\text{дуги}} = -15\%$; динамический коэффициент $K_{\text{дин}} = 0\%$; скорость подачи защитного газа аргона $Q_{\text{Ar}} = 15$ л/мин. Режим наплавки подобран для обеспечения получения требуемой геометрии наплавляемого образца.

Более жесткий режим при наплавке первых слоев используется для обеспечения сплавления с подложкой и формирования требуемой геометрии.

Более мягкий режим при наплавке последующих слоев используется для обеспечения формирования требуемой геометрии.

Из наплавленных образцов могут быть изготовлены образцы для механических испытаний и металлографических исследований.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках реализации национального проекта «Наука и университеты» и выполнения государственного задания «Разработка научно-технологических основ формирования системы материал-конструкция со специальными свойствами на основе гибридных аддитивных технологий» -FSNM-2021-0011.

Об авторах

Неулыбин Сергей Дмитриевич – руководитель НИЛ «Материал – технология – конструкция», кандидат технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: sn-1991@mail.ru.

Пермяков Глеб Львович – научный сотрудник НИЛ «Материал – технология – конструкция», кандидат технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: gleb.permyakov@yandex.ru.

Мосягин Илья Анатольевич – студент группы ЛТС-21-1м, кафедра сварочного производства, метрологии и технологии материалов (СПМиТМ), Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: iluch_mos@mail.ru

Ковтунович Максим Алексеевич – студент группы ТСП-19-16, кафедра сварочного производства, метрологии и технологии материалов (СПМиТМ), Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: 469safari33@mail.ru.

Красных Вадим Олегович – студент группы ТСП-19-16, кафедра сварочного производства, метрологии и технологии материалов (СПМиТМ), Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: krasnykhvo@yandex.ru.

Макаров Дмитрий Андреевич – ФКП «Пермский пороховой завод», e-mail: weld-katymail.ru.

**С.Д. Неулыбин, С.В. Варушкин, Г.Л. Пермяков, М.Ф. Карташев,
А.О. Печёнкин, С.В. Шишкин, Д.А. Макаров**

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ИЗ МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ С ПОСЛОЙНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ

В статье рассмотрены требования, предъявляемые к работе плазматронов для наплавки. Рассмотрены основные узлы и функциональные особенности работы плазматрона для наплавки. В работе представлены сведения об оборудовании, на котором осуществляется процесс послойного упрочнения после наплавки.

Ключевые слова: плазматрон для наплавки, ток прямой и обратной полярности, оборудование для послойного упрочнения, аддитивные технологии.

**S.D. Neulybin, S.V. Varushkin, G.L. Permyakov, M.F. Kartashev,
A.O. Pechenkin, S.V. Shishkin, D.A. Makarov**

EQUIPMENT FOR TRAINING THE TECHNOLOGY OF LAYERED FORMATION FROM MARTENSITIC AGING STEEL WITH LAYERED HARDENING OF SURFACE LAYERS

The article considers the requirements for the operation of plasma torches for surfacing. The main components and functional features of the operation of the plasma torch for surfacing are considered. The paper presents information about the equipment on which the process of layer-by-layer hardening after surfacing is carried out.

Keywords: plasma torch for surfacing, current of direct and reverse polarity, equipment for layer-by-layer hardening, additive technologies.

Экспериментальные исследования по послойному формированию изделий методом плазменной наплавки проволоочного материала проводились на установке, в состав которой входило следующее оборудование:

- плазматрон для плазменной наплавки с прямой полярностью тока;
- плазматрон для плазменной наплавки с обратной полярностью тока;
- специализированная консольно-сварочная установка с числовым управлением – СКЧУ-1500 [1–3].

Плазменная наплавка с использованием оплавляемых материалов в виде прутков или проволоки и с применением комбинированных технологий предъявляет жесткие требования к плазмотронам, так как предполагается длительное (порой многочасовое) использование при высоких токовых нагрузках, что приводит к повышению тепловых нагрузок на электрод и плазмообразующее сопло. Кроме того, использование нескольких источников сварочного тока повышает вероятность электрического пробоя изоляторов между токонагруженными элементами плазмотрона и перехода к режиму двойного дугообразования [2, 4].

В настоящее время существует несколько базовых схем плазмотронов для сварки. Классическая схема плазмотрона включает несущую конструкцию – корпус, на котором размещаются плазмообразующее и защитные сопла, изолятор и электродный узел. Плазмотрон снабжен системами подвода плазмообразующего и защитного газов и автономными системами охлаждения электродного узла и плазмообразующего сопла, причем каналы для подвода газов и каналы для подвода циркуляции и отвода охлаждающей среды выполнены за счет сопряжения большого количества промежуточных деталей, имеющих сложную форму, соединяемых между собой пайкой или сваркой [3].

Отечественная и зарубежная промышленность предлагает ограниченную номенклатуру плазмотронов для наплавки. Плазмотроны имеют значительные габариты и массу, трудоемки в изготовлении и обслуживании, как правило, не являются универсальными узкоспециализированными изделиями [5].

В соответствии с вышесказанным, для проведения исследовательских работ использовался универсальный плазмотрон для наплавки с широкими технологическими возможностями на базе модульного построения разработки ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Плазмотрон обеспечивал возможность работы на токе прямой и обратной полярности с боковой подачей одной или нескольких присадочных проволок, плазменную наплавку плавящимся электродом, а также возможность ведения комбинированных процессов наплавки.

Плазмообразующее сопло в совокупности с корпусом является основным модулем плазмотрона, который содержит системы подвода плазмообразующего и защитного газов, а также каналы и

полости для подвода циркуляции и отвода охлаждающей жидкости к теплонагруженным частям.

Электродный узел является основным рабочим теплонагруженным элементом плазмотрона и определяет назначение плазмотрона. Набор электродных модулей обеспечивает различные функциональные возможности плазмотрона. Электродный узел для наплавки на прямой полярности, обратной полярности, токоподвод для плавящегося электрода имеют автономное водяное охлаждение и одинаковые посадочные размеры для установки в плазмотроне. Электродный узел для наплавки на токе обратной полярности снабжен электродом, представляющим собой медный усеченный конус, с заделанной в его торцевую часть высокотемпературной вставкой (например, вольфрамовой). Электрод устанавливается в корпус электрододержателя на резьбе, при больших токовых нагрузках электрод может закрепляться в корпусе с помощью пайки [1–3].

В перерывах между наплавкой слоев осуществлялось послойное упрочнение ручным способом с использованием пневматического молота SA7401H AIRPRO.

Исходя из специфики процесса послойного упрочнения была переработана конфигурация рабочего инструмента пневматического молотка – уменьшена общая длина инструмента, а также изменена форма ударной поверхности [6]. В результате был получен укороченный инструмент с бойком сферической формы радиусом $R = 15$ мм, представленный на рисунке.



Рис. Укороченный инструмент с бойком сферической формы радиусом $R = 15$ мм

В качестве материала для отработки технологии была выбрана проволока Св-03Х12Н9М2С-ВИ диаметром 1,2 мм. Подобраны оборудование и оснастка для выполнения многослойной плазменной наплавки и послойного упрочнения. Разработана схема распо-

ложения плазмотрона и присадочной проволоки. Выполнена апробация технологических и технических решений. Подобраны предварительные параметры режима для процесса многослойной плазменной наплавки проволокой Св-03Х12Н9М2С-ВИ.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках реализации национального проекта «Наука и университеты» и выполнения государственного задания «Разработка научно-технологических основ формирования системы материал-конструкция со специальными свойствами на основе гибридных аддитивных технологий» -FSNM-2021-0011.

Список литературы

1. Возможности плазменной обработки металлов током обратной полярности / Ю.Д. Щицын, О.А. Косолапов, В.Ю. Щицын // Сварка. Диагностика. – 2009. – № 2. – С. 42–45.
2. Shitsyn Yu.D., Belinin D.S., Neulybin S.D. Plasma Surfacing Of High-Alloy Steel 10cr18ni8ti On Low-Alloy Steel 09mg2si // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 20. – С. 41103–41109.
3. Разработка технологии послойного выращивания заготовки из высоколегированной стали методом плазменной наплавки / Ю.Д. Щицын, Д.С. Белинин, С.Д. Неулыбин [и др.] // Металлург. – 2017. – № 5.
4. Гладкий П.В., Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменная наплавка. – К.: Екотехнологія, 2007. – 292 с.
5. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
6. Плазменная наплавка металлов / А.Е. Вайнерман, М.Х. Шоршоров, В.Д. Веселков, В.С. Новосадов. – Л.: Изд-во «Машиностроение», 1969. – 192 с.

Об авторах

Неулыбин Сергей Дмитриевич – руководитель НИЛ «Материал – технология – конструкция», кандидат технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: sn-1991@mail.ru.

Варушкин Степан Владимирович – научный сотрудник НИЛ «Материал – технология – конструкция», кандидат технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: stepan.varushkin@mail.ru.

Пермяков Глеб Львович – научный сотрудник НИЛ «Материал – технология – конструкция», кандидат технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: gleb.permyakov@yandex.ru.

Карташев Максим Федорович – научный сотрудник НИЛ «Материал – технология – конструкция», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: goncharsk@mail.ru.

Шишкин Сергей Владимирович – студент группы ТСП-19-б кафедры «Сварочное производство, метрология и технологи материалов», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: chag.shiskin@yandex.ru.

Печёнкин Александр Олегович – студент группы ТСП-19-б кафедры «Сварочное производство, метрология и технологи материалов», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: aleks.pe4enkin@yandex.ru.

Макаров Дмитрий Андреевич – ФКП «Пермский пороховой завод», e-mail: weld-katymail.ru.

Д.Г. Абдалов, М.В. Песин

СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ ПУТЕМ ИОННО-ВАКУУМНОГО АЗОТИРОВАНИЯ ИЗНАШИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

На современных нефтехимических предприятиях существует проблема износа и разрушения деталей запорной арматуры трубопроводов. Неисправность задвижек может приводить к существенным убыткам при эксплуатации трубопроводов, увеличению производственных рисков, угрозе безопасности работы на промышленных объектах. Вопрос о продлении ресурса запорной арматуры решается повышением прочностных характеристик запирающих элементов.

Ключевые слова: задвижка, нефтепереработка, азотирование, упрочнение поверхности, термообработка, надежность, долговечность.

D.G. Abdalov, M.V. Pesin

A MODERN METHOD OF INCREASING THE RELIABILITY OF SHUT-OFF VALVES BY ION-VACUUM NITRIDING OF WEAR PARTS

At modern petrochemical enterprises, there is a problem of wear and tear of internal parts of pipeline valves. Valve failure can lead to serious losses, production risks, loss of products, and poses a safety hazard. The issue of extending the working margin of shutoff valves is solved by increasing the strength characteristics of the locking elements.

Keywords: valve, oil refining, nitriding, surface hardening, heat treatment, reliability, durability.

На предприятиях нефтяной отрасли довольно часто возникают ремонт и обслуживание запорной арматуры на некоторых участках трубопроводной магистрали. Одним из важнейших требований, предъявляемых к запорной арматуре, является герметичность затвора. В процессе эксплуатации уплотняющие поверхности затвора изнашиваются, следовательно, пропуск жидкости через затворы в положении «закрыто» увеличивается и может достигать значений, препятствующих исполнению технологических действий. Запирающим элементом в задвижке выступает клин. В качестве запорной арматуры в трубопроводах используют различные конструкции задвижек, но клиновая является одним из распространенных устройств в этой сфере, ее эскиз приведен на рис. 1.

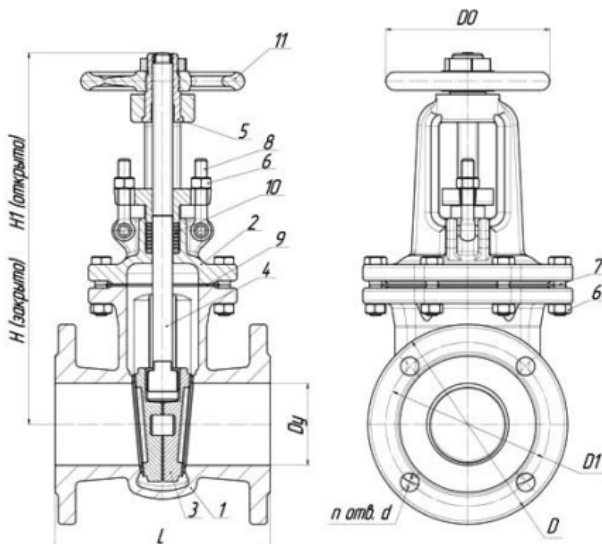


Рис. 1. Клиновая задвижка

На сегодняшний день для повышения эффективности элементов затвора применяется множество подходов и комбинаций, но оптимальных и энергоёмких всего два:

1. Применение дорогостоящих высоколегированных коррозионностойких сталей и сплавов. Этот метод приводит к желаемым показателям, но в несколько раз увеличивает себестоимость конструкции. Кроме того, использование коррозионно-стойких сталей лимитировано за счет малых удельных показателей прочности. Использование сложнелегированных сталей с наибольшим содержанием тугоплавких металлов – молибдена, хрома, кобальта, ванадия, вольфрама непропорционально увеличивает цену и пригодно только для особо важных изделий. Продление ресурса запорной арматуры благодаря применению дорогих марок сталей – экстенсивный подход, его не следует относить к передовому и современному.

2. Химико-термическая обработка (ХТО) поверхностного слоя клинового затвора. Одним из наиболее популярных подходов модификации стальных поверхностей является ионная ХТО – насыщение поверхности детали азотом в ионизированных газовых средах. Ионная ХТО является одним из современных и инноваци-

онных методов упрочнения, способствующих достижению наилучших параметров упрочняемой поверхности, повышению удельной контактной прочности и твёрдости, недопущению развития трещин, стойкости к общей и межкристаллитной коррозии для всех сталей и сплавов металлов, включая операции при высоких температурах. Равномерное нагревание деталей по всей поверхности обеспечивает минимальное изменение размеров после ионно-вакуумной ХТО.

В ходе исследования некоторых российских машиностроительных предприятий по упрочнению поверхностей деталей азотированием была выявлена преимущественная зависимость того, что ресурс изделий увеличился в несколько раз.

Характеристики азотированных слоев на сталях различных марок, которые используют в производстве задвижек и подвержены термообработке, представлены в таблице.

Характеристики поверхностного слоя на высоколегированных сталях

Показатели	40X	20X13	38X2МЮА
Поверхностная твердость $HV\ 5$, кгс/мм ²	580–620	920–970	1050–1100
Поверхностная микротвердость $HV\ 0,1$, кгс/мм ²	700–750	940–980	1140–1200
Глубина слоя по микроструктуре h_m , мм	0,35–0,36	0,17–0,18	0,33–0,34
Глубина слоя по микротвердости h_c , мм	0,40	0,20	0,35
Толщина нитридной зоны, мкм	8–10	–	7–8
Хрупкость по шкале ВИАМ	I балл, не хрупкий	I балл, не хрупкий	I балл, не хрупкий

На данный момент эта технология успешно введена и используется на многих предприятиях-производителях нефтепромыслового оборудования: ООО «Пермская компания нефтяного машиностроения», г. Краснокамск, Пермского края, АО «ЭЛКАМ-нефтемаш», г. Пермь, АО «ПНИТИ», г. Пермь, ООО «Завод НГО «Техновек», г. Воткинск; ООО «Камский арматурный завод», г. Пермь; «НПК «Нефтяное машиностроение», г. Лысьва, HABONIM INDUSTRIAL VALVES & ACTUATORS, Израиль и других производствах.

На рис. 2 представлена фотография процесса упрочнения клинов задвижек для запорной арматуры производства «Камский арматурный завод», г. Пермь.



Рис. 2. Азотирование элементов затвора задвижки

Таким образом, суммируя вышеизложенное, можно говорить о высокой актуальности применяемой технологии упрочнения для работы трубопроводной арматуры в жестких эксплуатационных режимах.

Список литературы

1. Дудников Ю.В., Азметов Х.А. Обоснование определения герметичности затворов запорной арматуры магистральных нефтепроводов созданием в трубопроводе давления по ступенчатой диаграмме // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2012. – № 2 (88). – С. 26–30.
2. Упрочнение деталей запорной арматуры методом ионного азотирования / Е.Б. Думлер, Э.Я. Зинатуллина, Д.А. Сарачева, А.З. Газизов // Роль математики в становлении специалиста: матер. междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 18 мая 2021 года. – Уфа, 2021. – С. 110–114.
3. Газизов А.З., Думлер Е.Б., Сарачева Д.А. Метод повышения прочностных свойств элементов запорной арматуры // Роль математики в становлении специалиста: матер. междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 18 мая 2021 года. – Уфа, 2021. – С. 105–110.
4. Песин М.В. Повышение надежности резьбовых соединений нефтегазовых изделий. – Технология машиностроения. – 2011. – № 9. – С. 49–50.

Об авторах

Абдалов Даниль Галимханович – студент бакалавриата кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: abdalov419@gmail.com.

Песин Михаил Владимирович – доктор технических наук, профессор, декан механико-технологического факультета, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: m.pesin@mail.ru.

П.Н. Чариков, Я.Р. Абдуллин

МОДЕЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

В работе рассматриваются вопросы разработки системных моделей процесса учета энергетических затрат при производстве продукции на основе использования энергетических потоков. Произведен анализ методик процесса учета энергетических затрат в структуре себестоимости изделий на основе использования энергетических потоков и предложены мнемосхема и функциональная модель. Также построена модель, отражающей все сущности, их характеристики и взаимосвязи, необходимые для автоматизации процесса учета энергетических затрат, и произведена адаптация конфигурации ERP-системы в соответствии с моделями.

Ключевые слова: системные модели, процесс энергетических затрат, себестоимость изделия, конфигурации ERP-системы.

P.N. Charikov, Ya.R. Abdullin

MODEL OF ENERGY FLOWS AT A MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

The paper deals with the development of system models of the process of accounting for energy costs in the production of products based on the use of energy flows. An analysis of the methods of the process of accounting for energy costs in the cost structure of products based on the use of energy flows was made, and a mnemonic diagram and a functional model were proposed. A model was also built that reflects all the entities, their characteristics and relationships necessary to automate the process of accounting for energy costs, and the ERP system configuration was adapted in accordance with the models.

Keywords: system models, energy cost process, product cost, ERP configurations – systems.

При разработке и введении в действие «Учетной политики предприятия», позволяющей усилить контроль за использованием материальных и энергетических потоков и их качеством, были сформулированы основные задачи [1].

С точки зрения методологии Cobit установили целевые выгоды для бизнеса, их соответствие бизнес-стратегии: оптимизация затрат на энергоресурсы, непрерывность и доступность энергоресурсов.

Цели процесса перемещения энергетических потоков были определены и детализированы по категориям:

– Прямые цели. Поддержание энергопотока на минимально безопасном уровне с резервом

$$Q_g \geq \sum Q_{ip} + \sigma \cdot \xi,$$

где Q_g – суммарный энергопоток; Q_{ip} – энергопоток на i -ю продукцию; σ – среднеквадратичное отклонение энергопотока на производства продукции; ξ – норма резерва.

– Минимизация энергопотока на единицу продукции:

$$F(Q_g / \sum Q_{ip}) \rightarrow \min.$$

– Контекстуальные (опосредованные) цели. Упрощение и процесса составления отчетности, и документооборота.

– Цели доступа и безопасности. Настройка политик безопасности по доступу к первичной информации и отчетности.

Основная цель разработки и внедрения «Учетной политики предприятия» – достичь Уровня 4: «Предсказуемый процесс – Установленный процесс теперь получает результаты в условиях заданных ограничений» по методологии COBIT 5 [2].

Для оценки результатов процесса использовали шкалу стандарта ISO/IEC 15504, которая позволяет присвоить рейтинг по достижению каждой из целей в зависимости от полноты ее достижения [2], фрагмент соответствия ИТ-целей и ИТ-процессов согласно COBIT 5 приведен в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Цели предприятия согласно COBIT 5

Показатель	Цель предприятия	Связь с задачами руководства		
		получение выгоды	оптимизация рисков	оптимизация ресурсов
Внутреннее управление	Оптимизация функциональности процессов перемещения энергоресурсов	P*		P
	Оптимизация затрат производства	P		P
	Управление программами рецептуры каучуков	P	P	S**
	Соблюдение регламентов		P	

Примечание: * P – прямая связь; ** S – косвенная связь.

ИТ-Цели

Карта показателей	Цели информационных и связанных с информацией технологий
Внутреннее управление	Гибкость информационных технологий
	Безопасность информационного потока
	Оптимизация информационных ресурсов
	Обеспечение работы и поддержка перемещения энергоресурсов
	Извлечение выгоды из программ, соответствующих требованиям и стандартам качества
	Доступность надежной и нужной информации для принятия решений
	Соблюдение внутренних политик

Была построена схема основных переделов (рис. 1) [3], [4], а также функциональная модель системы [5], [6], [7]. Рисунок 1 показывает структурные закономерности энергетического потока. Все цеха содержат подразделения, которые состоят из процессов или групп резервуаров. Введено понятие энергетического потока как перемещение некоторого вещества (номенклатуры) от процесса источника к процессу-приемнику.

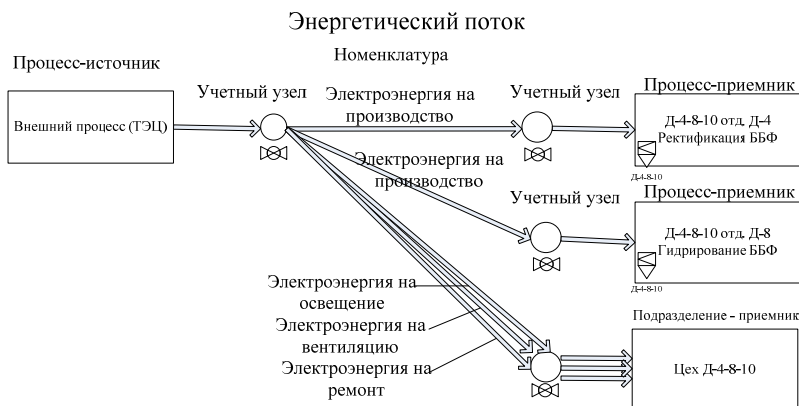


Рис. 1. Модель энергетического потока

Основные характеристики энергопотока: номенклатура, процесс-источник (передел, цех), процесс-приемник (передел, цех), вид расходов (на технологию, общезаводская), учетный узел источника, учетный узел приемника, вид продукции, статья затрат,

основная бухгалтерская проводка, признак вхождения в калькуляцию, аналитическая служба, первичный документ учета.

В процессе работы была построена функциональная IDEF-модель [5]. Кроме функциональной модели, для построения модели IDFIX была установлена взаимосвязь первичных документов и отчетов. Основными документами являются ведомости движения сырья. Для их получения необходима обработка первичных документов, содержащих информацию по поступлению энергопотока, перемещению в пределах производства и отпуску готовой продукции. На основе информации из ведомости можно составить разнообразные отчеты.

Чтобы описать информационную структуру модели процесса учета затрат, была создана ER-модель. Модель строилась в нотациях IDEF1X.

Техника создания ER-модели заключается в выделении сущностей (входы и выходы модели IDFIX), определении их атрибутов и установлении связей (функциональные блоки модели IDFO) [5], [8, с. 100]. ER-модель исследуемого процесса приведена на рис. 2.

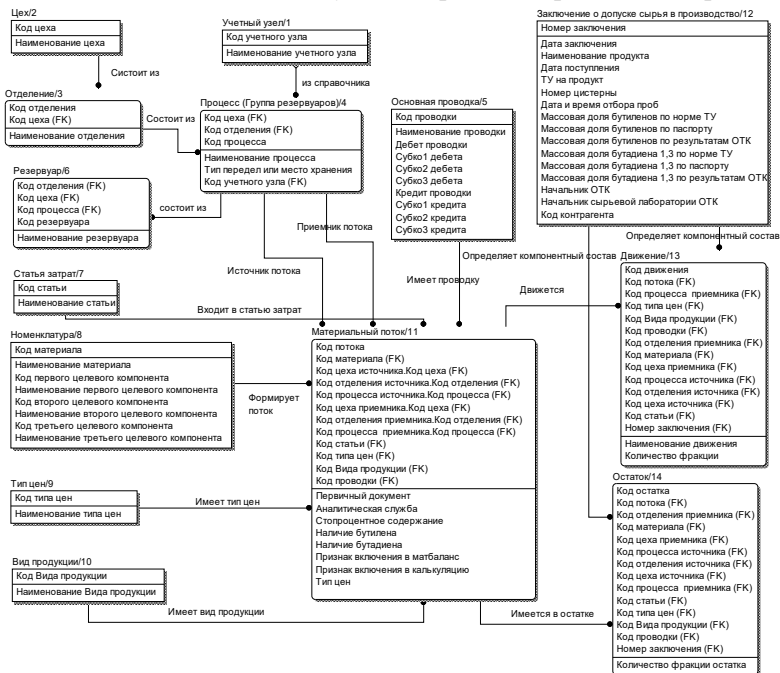


Рис. 2. Информационная модель энергетического потока

ER-модель процесса учета энергетического потока является основой физической реализации базы данных информационной системы. Разработанный комплекс системных моделей процесса учета энергетических затрат на машиностроительном предприятии при изготовлении продукции на основе использования энергетических потоков адаптирован в соответствии с полученными моделями в конфигурации ERP-системы. Разработанная конфигурация системы 1С: Предприятие, V8 находится в тестовой эксплуатации. По отзывам пользователей, все операции учета автоматизированы. Разработанные формы документов и справочников являются инвариантными и позволяют автоматизировать подобные процессы.

Список литературы

1. Чариков П.Н., Кулаков П.А. Задачи учета энергетических затрат при переработке сырья на объектах нефтехимии // Наука и образование в жизни современного общества: сборник науч. тр. по матер. междунар. науч.-практ. конф. 30 декабря 2014 г.: в 12 ч. Ч. 11. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 145–146.
2. COBIT 5: Бизнес-модель по руководству и управлению ИТ на предприятии.
3. Чариков П.Н., Кулаков П.А. Модель энергетического потока при переработке сырья на объектах нефтехимии // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сборник науч. тр. по матер. междунар. науч.-практ. конф. 31 января 2015 г.: в 16 ч. Ч. 10. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 143–144.
4. Чариков П.Н., Кулаков П.А. Схема основных переделов и материальных потоков производства сополимерных каучуков // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сборник науч. тр. по матер. междунар. науч.-практ. конф. 31 января 2015 г.: в 16 ч. Ч. 10. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 144–146.
5. Чариков П.Н. Системное моделирование организационного управления машиностроительным предприятием при производстве под заказ: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – Уфа, 2004. – 162 с.

6. Чариков П.Н., Кулаков П.А. Функциональная модель материальных потоков производства сополимерных каучуков // Тенденция формирования науки нового времени: сборник статей междунар. науч.-практ. конф. – Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2015. – С. 39–41.

7. Методика формирования иерархической структуры бизнес-процессов предприятия / П.Н. Чариков, Е.В. Боев, А.В. Бахонин, Ф.Ф. Маннанов // Сборник научных трудов Sworld. – 2014. – Т. 10, № 4. – С. 79–83.

8. Чариков П.Н., Кулаков П.А. Системные модели процесса учета энергетических затрат при переработке сырья на основе использования энергетических потоков // Сборник научных трудов Sworld. – 2015. – Т. 2, № 1 (38). – С. 100–106.

Об авторах

Чариков Павел Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал (г. Стерлитамак), e-mail: charikovpn@yandex.ru.

Абдуллин Ямил Рамилович – студент, Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал (г. Стерлитамак), e-mail: yamilabdullin@yandex.ru.

Е.А. Гангнус, М.В. Песин

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ПРИСОЕДИНЁННОЙ КАВИТАЦИИ В МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

С развитием науки, повышением требований к прочности деталей, усложнением формы изделий, совершенствованием и появлением новых процессов механической обработки требуется высокотехнологичное оборудование. В связи с этим существует необходимость создания новых методов обработки сложнопрофильных деталей.

Ключевые слова: кавитация, механическая обработка, сложнопрофильная поверхность, финишная обработка деталей.

E.A. Gangnus, M.V. Pesin

METHODS OF APPLICATION OF THE METHOD OF ADDED CAVITATION IN THE PROCESSING OF CHEMICAL EQUIPMENT PARTS

With the development of science and industry, new processes are constantly being improved and new processes are emerging that require more and more high-tech equipment. The requirements for the strength of parts are increasing, their shape is becoming more complicated, and a variety of sizes arises. In this regard, there is a need to create new methods for processing parts.

Keywords: cavitation, machining, complex profile surface, finishing of parts.

На современном этапе развития машиностроения для разработки новых методов обработки деталей химического оборудования на предприятиях требуется наличие САПР и современного технологического оборудования. Всем вышесказанным обладают научно-исследовательские институты и инновационные промышленные компании. В связи с этим целесообразно проведение экспериментов, результаты которых могут использоваться для реализации теоретических методов на практике, и последующее их внедрение в производство.

В качестве примера можно привести эффект присоединённой кавитации. Суть заключается в применении свободного абразива, который получает энергию резания от кавитирующей технологической среды. Процесс резания происходит за счет хаотичного высокоскоростного перемещения абразивных зерен с последующим их

столкновением с обрабатываемой деталью. Стружка при этом свободно отводится потоками и в последующем участвует в обработке, вызывая поверхностное упрочнение детали посредством наклепа, а также способствует снижению шероховатости поверхности [1].

В качестве жидкой составляющей технологической среды можно предложить использование воды с добавлением в неё ингибиторов коррозии, а в качестве абразива различные порошки [2]. На рисунке представлен эксперимент, проведённый А.С. Асаевым.

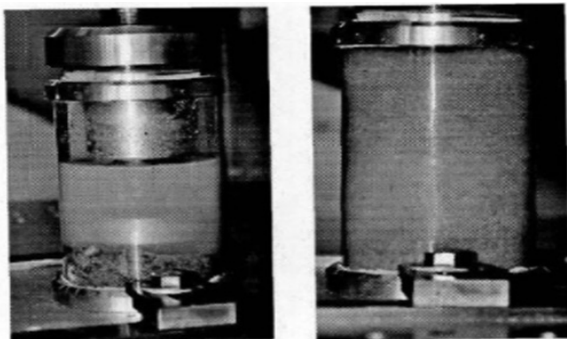


Рис. Экспериментальная установка по применению эффекта присоединённой кавитации для механической обработки деталей

В ходе обработки детали была получена поверхность с достаточно низкой шероховатостью. На сегодняшний день необходимо разработать специальную оснастку, которую можно было бы применить на различных станках.

Должны быть достигнуты следующие задачи: свободное отведение стружки, наличие контакта обрабатываемой детали только с кавитирующей средой и абразивом. При этом обработку необходимо реализовать так, чтобы энергия от эффекта кавитации распространялась только на абразив, а не разрушала поверхность детали.

В случае успешной реализации производства деталей с использованием этой технологии будут достигнуты следующие преимущества:

- в связи с отсутствием вращающегося инструмента и его «жёсткого» контакта с обрабатываемой поверхностью будут отсутствовать динамические и ударные нагрузки на обрабатываемую деталь;
- в связи с отсутствием постоянного контакта обрабатываемой поверхности с абразивом значительно снизится нагрев детали;

– использование широкого ряда режущих порошков различного состава (смеси) и размеров их зерен (от 1 нм до 20 мм) позволит обрабатывать весь используемый в промышленности сортамент материалов.

В заключение следует отметить следующее:

– применение метода присоединенной кавитации позволит обрабатывать детали со сложной поверхностью, что положительно скажется на работе и сроке службы различного химического оборудования;

– метод может составить существенную конкуренцию механической виброобработке деталей в обрабатывающих средах; абразивному полированию поверхности и другим технологическим методам, широко применяемым на промышленных предприятиях;

– снизятся затраты на производство в связи с отсутствием необходимости закупки дорогостоящего металлорежущего инструмента, основные расходы в этом случае будут связаны с абразивными порошками и подготовкой смеси.

Список литературы

1. Асаев А.С., Иванайский А.В., Асаева Т.А. Особенности технологического процесса финишной обработки деталей машин свободным абразивом с применением эффекта присоединенной кавитации // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона. – 2016. – № 1 (8). – С. 40–46.

2. Асаев А.С. Разработка метода финишной обработки деталей машин свободным абразивом с применением эффекта присоединенной кавитации: специальность 05.02.07: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2016. – 22 с.

Об авторах

Гангнус Евгений Александрович – студент бакалавриата кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: gangnus@list.ru.

Песин Михаил Владимирович – доктор технических наук, декан механико-технологического факультета, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: m.pesin@mail.ru.

К.О. Вертипрахов, Г.С. Горелов, М.С. Пермяков, К.Р. Муратов

**ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ
И ПЛОСКОСТНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ УСЛОВИЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ**

Представлены результаты сравнительных исследований динамики изменения микрорельефа и геометрической формы обрабатываемых поверхностей материалов, полученных методом аддитивных и гибридных технологий.

Ключевые слова: финишная прецизионная обработка, шероховатость, точность геометрической формы, связанный, свободный абразив.

K.O. Vertiprakhov, G.S. Gorelov, M.S. Permyakov, K.R. Muratov

**THE DYNAMICS OF THE FORMATION OF ROUGHNESS
AND FLATNESS OF THE SURFACE DEPENDING ON THE CONDITIONS
OF ABRASIVE PROCESSING**

The article presents the results of comparative studies of the dynamics of changes in the microrelief and geometric shape of the processed surfaces of materials obtained by additive and hybrid technologies.

Keywords: precision finishing, roughness, geometric shape accuracy, fixed abrasive, free abrasive.

Методы изготовления деталей при помощи аддитивных технологий уже обрели широкое распространение в приборной, авиационной, нефтегазовой промышленности, однако технологические режимы механической, электрофизической обработки данных изделий еще не изучены в полной мере [1, 2]. Прецизионная обработка является важным и одним из самых ответственных этапов обработки поверхностей деталей. Ведутся работы по исследованию технологических и кинематических режимов финишной прецизионной обработки материала *ВТ6*, полученного методом аддитивной технологии. В программном комплексе *Matlab* разработаны алгоритмы, моделирующие кинематические параметры результирующей траектории микрорезания на плоскодоводочном станке [3].

Для расчета необходимых коэффициентов износа притира был проведен комплекс экспериментальных работ на станке

«РАСТР-350м» на чугунном притире (СЧ-28) диаметром 350 мм [4, 5]. В качестве образцов использовались 3 цилиндрические заготовки диаметром 40 и высотой 16 мм, изготовленные методом аддитивной технологии из материала *ВТ6*. В ходе исследований определялись: производительность процесса доводки, динамика изменения шероховатости и динамика изменения отклонения от плоскостности обрабатываемых поверхностей. Скорость резания, относительная траектория детали и инструмента, усилие прижима деталей к притиру, частота вращения деталей и частота колебаний притира во всех экспериментах оставались постоянными. В качестве изменяемых параметров были выбраны: время обработки, зернистость абразива и метод закрепления абразивного слоя на притире.

В качестве абразива использовались алмазные пасты различной зернистости (АСМ 60/40; 40/28; 20/14 мкм), а также притиры со связанным (спеченным) алмазным слоем в виде плоских кругов формы 6А2Т: АСМ 28/20–М2-01-2 и АСМ 40/28 – М2-01-2, концентрация 50 % на металлической связке М2-01. Перед проведением каждого этапа экспериментов проводилась шлифовка образцов в исходное состояние с обеспечением шероховатости около R_a 0,3 мкм, а также правка притира в исходное состояние с отклонением плоскостности не более 1,0–1,5 мкм на диаметре 350 мм. По результатам каждого эксперимента проводились контроль съема материала, шероховатости и отклонения от плоскостности обработанной поверхности каждого образца.

На рис. 1 представлена динамика процесса формирования шероховатости и плоскостности доведенной поверхности в зависимости от размера абразивного зерна. Из результатов видно (рис. 1, *а*), что уже в течение первой минуты обработки происходит формирование микрорельефа поверхности, высотные значения которого (R_a , мкм) главным образом зависят от используемой зернистости (алмаза) абразива. Дальнейшее, после 1,5–2,0 минут, незначительное изменение параметра шероховатости можно объяснить некоторым дроблением и затуплением граней абразивных зерен, а также накоплением шлама, активно препятствующих процессу микрорезания. Динамика формирования плоскостности обрабатываемой поверхности свободным абразивом на основе синтетического алмаза представлена на рис. 1, *б*. В начальной стадии обработки поверхностей взаимодействие происходит лишь отдельными «пятнами» касания, составляющими очертания контурной площа-

ди, на которой возникают большие, близкие к критическим величины контактных давлений. Поэтому в первые минуты обработки формирование плоскостности поверхности происходит динамичнее. По мере увеличения площади контакта и количества одновременно участвующих зерен в процессе микрорезания контактные давления снижаются, что приводит к некоторому «затуханию» динамики формирования плоскостности поверхности при обработке с постоянным усилием прижима. Процесс формирования плоскостности поверхности и уменьшения отклонения от плоскостности продолжается и после 6 минут обработки.

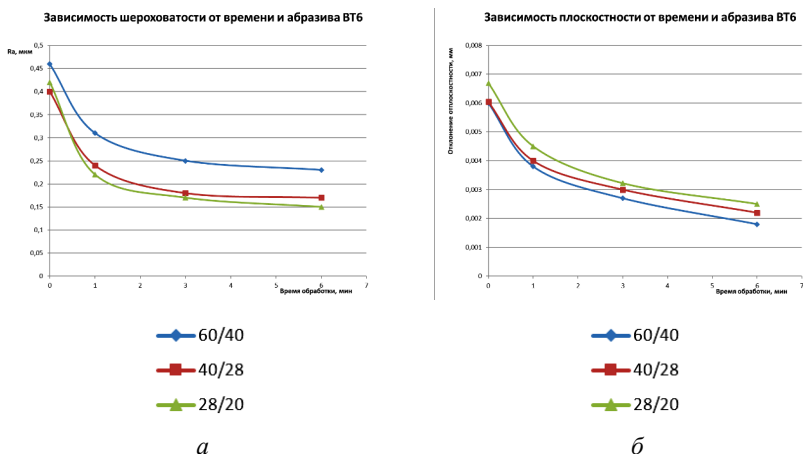


Рис. 1. Динамика процесса доводки свободным абразивом образца из материала ВТ6: *а* – шероховатость, *б* – отклонение от плоскостности

По результатам проведенных экспериментов определены значения производительности микрорезания при различных размерах абразивного зерна. Результаты показали, что производительность процесса микрорезания Q , мкм/мин при доводке зависит главным образом от зернистости абразивного материала и изменяется практически по линейному закону.

Метод доводки связанным абразивом получил широкое применение с появлением синтетических алмазов и других сверхтвердых абразивных материалов при финишной обработке поверхностей изделий. Основными параметрами характеристики инструмен-

та со связанным абразивом являются марка и зернистость абразива, вид связки и концентрация абразива в связке. Наибольшее применение получил инструмент из синтетических алмазов на металлических связках типа М1 и М2.

Проведены сравнительные исследования и представлены зависимости результирующей шероховатости и плоскостности от времени доводки и размера абразивного зерна при обработке на связанном абразиве: АСМ 28/20 – М2-01-2 и АСМ 40/28 – М2-01-2, концентрация 50 % (рис. 2).

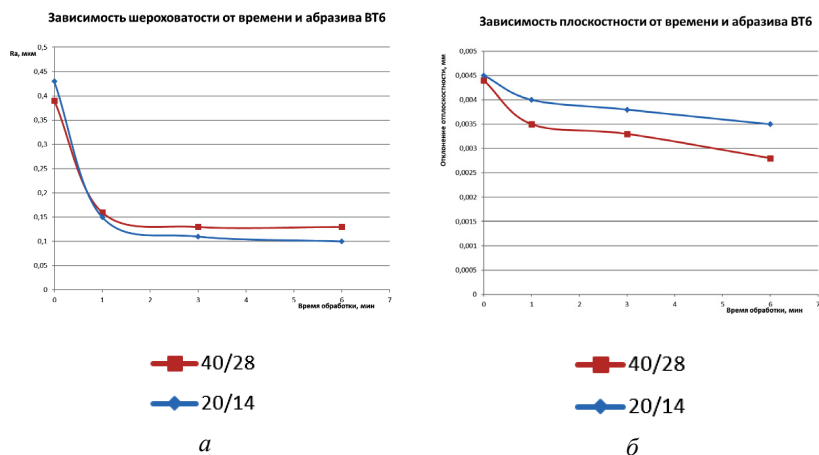


Рис. 2. Динамика процесса доводки связанным абразивом образца из материала ВТ6: а – шероховатость, б – отклонение от плоскостности

Результаты доводки на связанном абразиве образцов носят схожие закономерности по динамике изменения шероховатости обрабатываемой поверхности. Шероховатость формируется в первую – вторую минуту обработки, однако высотный параметр шероховатости поверхности (R_a) на 30–50 % ниже при доводке связанным абразивом 40/28 мкм в сравнении с доводкой на свободном абразиве той же зернистости. Объяснить это можно тем, что спеченные со связкой алмазные зерна 40–28 мкм в среднем из связки выступают на $1/3$ величины размеров зерна, работают постоянно одной своей вершиной и по этой причине формируют более низкий микрорельеф поверхности.

Также следует отметить, что при почти одинаковых исходных параметрах величины отклонения от плоскостности образцов динамика формирования плоскостности при обработке с постоянным усилием прижима на инструменте со связанным абразивом (рис. 2, б) происходит значительно медленнее, в сравнении с доводкой свободным абразивом. Причиной этого, на наш взгляд, также является величина и рабочие грани рабочей поверхности связанного алмазного зерна, которые осуществляют процесс внедрения и микрорезания поверхности на более низкую глубину в сравнении с обработкой свободным абразивом. По сравнению с обработкой свободным абразивом процесс доводки связанным абразивом отличается рядом существенных преимуществ: не требует большого расхода абразивного материала, менее трудоемкий на операции промывки, а также отличается более низкой и стабильной шероховатостью обработанной поверхности. Однако доводка на связанном абразиве существенно уступает по производительности доводке свободным абразивом.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по государственному заданию FSNM-2020-0028.

Список литературы

1. Чемодуров А.Н. Применение аддитивных технологий в производстве изделий машиностроения // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2016. – Вып. 8. – Ч. 2. – С. 210–216.
2. Linking process, structure, property, and performance for metal-based additive manufacturing: computational approaches with experimental support / J. Smith, W. Xiong, W. Yan [et al.] // Computational Mechanics. – 2016. – Vol. 57, № 4. – P. 583–610.
3. Software for simulating the surface wear of tools / K.R. Muratov, T.R. Ablyaz, E.A. Gashev, A.N. Rykunov // Russian Engineering Research. – 2019. – Т. 39, № 10. – С. 869–871.
4. Determining the Actual Contact Area in Mutual Lapping of Surfaces / K.R. Muratov, E.A. Gashev, T.R. Ablyaz [et al.] // Russian Engineering Research. – 2021. – Vol. 41, № 5. – P. 437–438.
5. Некрасов В.П., Муратов Р.А. Станки с растровой кинематикой для финишной обработки поверхностей постоянной кривизны //

Современные организационные технологические и конструкторские методы управления качеством: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2006. – С. 96–115.

Об авторах

Муратов Карим Равилевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: karimur_80@mail.ru.

Пермяков Матвей Сергеевич – аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: permiakovmatvey@gmail.com.

Вертипрахов Кирилл Олегович – магистр, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: karimur_80@mail.ru.

Горелов Григорий Сергеевич – магистр, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: karimur_80@mail.ru.

М.С. Пермяков, К.Р. Муратов, Е.А. Гашев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ АБРАЗИВНОЙ ДОВОДКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Представлены результаты компьютерного моделирования результирующей траектории микрорезания в процессе доводки поверхностей с учетом кинематических параметров. По полученным результатам определяются пятно контакта притира и детали, а также степени износа притира и деталей.

Ключевые слова: финишная обработка, моделирование процесса микрорезания, пятно контакта, износ, точность геометрической формы.

M.S. Permyakov, K.R. Muratov, E.A. Gashev

MODELING TOOL WEAR IN THE PROCESS OF ABRASIVE FINISHING OF SURFACES

The article presents the results of computer simulation of the resulting trajectory of micro cutting in the process of finishing surfaces on flat-finishing equipment, taking into account the technological, kinematic and geometric parameters of the treated surfaces and the lap. According to the results obtained, the contact patch of the lap and parts, as well as the degree of wear of the lap and parts are determined.

Keywords: finishing, modeling of the micro cutting process, contact patch, wear, geometric shape accuracy.

Прогнозировать результат процесса доводки деталей при комбинациях режимов и условий обработки очень затруднительно и зачастую не представляется возможным. Поэтому основной проблемой является создание и увязка физико-механической модели процесса с технологическими факторами процесса доводки, с его производительностью, прогнозированием точности геометрической формы поверхности детали, износом инструмента и параметрами шероховатости [1, 2].

Отклонение от плоскостности и прямолинейности доведенных поверхностей деталей на станках определяется главным образом погрешностями формы рабочей поверхности притира, которые, в свою очередь, зависят от степени неравномерности его износа. Поэтому, чтобы обеспечивать требуемую плоскостность поверхностей деталей, необходимо создать условия для равномерного изна-

шивания притира. Равномерный износ поверхности инструмента обеспечивается кинематическими параметрами относительного движения инструмента и обрабатываемых деталей, а также равномерным покрытием поверхности инструмента обрабатываемыми деталями, чтобы вся поверхность притира участвовала в работе [3]. В исследованиях П.Н. Орлова [2] отмечается, что для стабилизации и управления процессом доводки необходимо создание условий равномерного изнашивания поверхности инструмента и сохранения его геометрической формы во времени.

Отличительной особенностью станков с растровой траекторией движения является сложная траектория рабочего движения притира. Конструкция станков позволяет бесступенчато регулировать параметры траектории движения притира. Возможность целенаправленного выбора формы и плотности относительной траектории рабочего движения инструмента и обрабатываемой детали позволяет формировать микрорельеф поверхности с различными параметрами [4, 5].

В программном комплексе Matlab разработаны алгоритмы, моделирующие процесс доводки на плоскодоводочных станках. Программа позволяет моделировать различные варианты движения притира и детали с различными характеристиками используемого абразива. Рассмотрены относительные движения притира по растровой траектории и движение детали по траектории гипоциклоиды на плоскодоводочном станке «Растр 350м».

Растровая траектория движения относится к колебательным рабочим движениям притира. Притир совершает комбинацию двух поступательных колебательных движений в перпендикулярных направлениях, образуя фигуру Лиссажу.

Уравнение движения притира имеет вид:

$$\begin{aligned} x &= A \cdot \sin(2\pi n_1 t + \delta) \\ y &= B \cdot \sin(2\pi n_2 t), \end{aligned} \quad (1)$$

где A , B – амплитуды колебания по осям x , y , n_1 , n_2 – частоты колебаний по осям x , y , δ – смещение фазы.

Обрабатываемые деталями совершают сложное, комбинированное движение, состоящее из вращения относительно центра нагружающего устройства, а также вращения вокруг собственной оси.

В результате сложного движения получается траектория гипоциклоиды. Уравнение движения приспособления с деталями имеет вид:

$$\begin{aligned} x &= x_c + R \cdot \cos (wt) \\ y &= y_c + R \cdot \sin (wt), \end{aligned} \quad (2)$$

где R – радиус точки, w – угловая скорость вращения приспособления с деталями, t – время, x_c, y_c – смещение оси вращения приспособления относительно главной оси станка. В частном случае совпадения оси вращения приспособления с главной осью станка $x_c = 0, y_c = 0$.

На рис. 1 представлена результирующая траектория микрорезания элементарной точки.

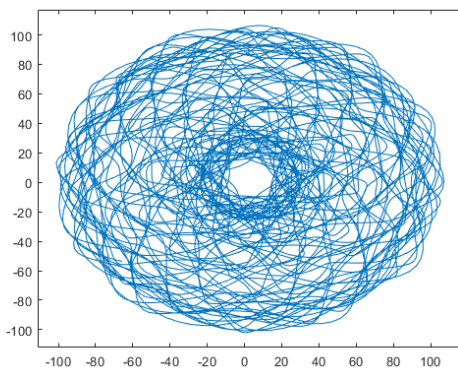


Рис. 1. Результирующая траектория микрорезания элементарной точки

После дискретизации расчетной модели в программе определяется положение каждой точки притира и детали в течение процесса обработки и пятно контакта детали и притира [5]. По полученным результатам определяются степени качественного износа притира и деталей. На рис. 2–4 представлены картины распределения итогового износа притира после 20, 40 и 60 секунд обработки.

Как видно из представленных результатов, в процессе обработки возникают локальные зоны износа поверхности притира, связанные с расположением и перемещением приспособления с деталью относительно притира, которые впоследствии приведут

к увеличению погрешности геометрической формы обрабатываемой поверхности детали.

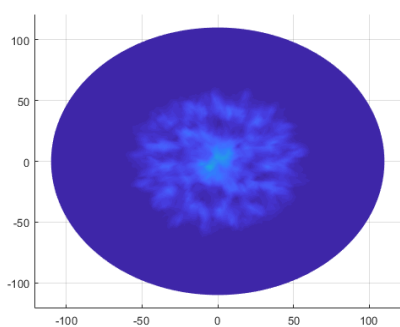


Рис. 2. Распределение износа притира после 20 секунд обработки

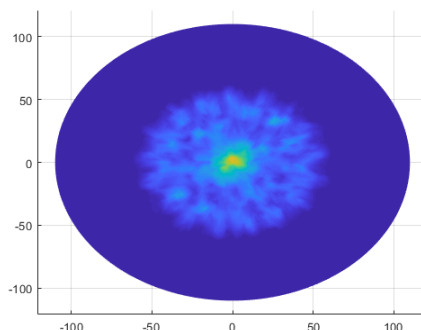


Рис. 3. Распределение износа притира после 40 секунд обработки

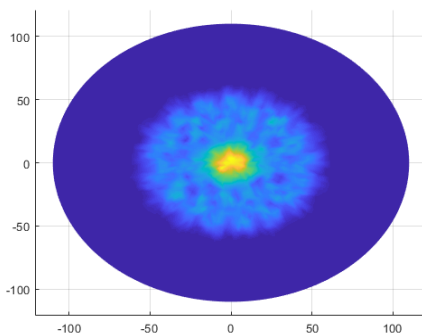


Рис. 4. Распределение износа притира после 60 секунд обработки

На рис. 2–4 представлены качественные величины износа притира при условии идеальной плоскостности детали и притира, следовательно, пятно контакта равно площади обрабатываемой детали. Однако в действительности плоскостность детали и притира не являются идеальными, и пятно контакта детали и притира является функцией от времени в процессе обработки. Необходимо дополнять математическую модель моделью процесса микрорезания и обработки детали и притира. Для снижения неравномерности износа притира в процессе доводки разрабатывается математическая

модель оптимизации расположения деталей на притире с учетом технологических, кинематических и геометрических параметров обрабатываемых поверхностей и притира.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по государственному заданию FSNM-2020-0028.

Список литературы

1. Kinematics and trajectory of both-sides cylindrical lapping process in planetary motion type / J. Yuan, W. Yao, P. Zhao [et al.] // Int J. Mach. Tool Manuf. – 2015. – № 92. – P. 60–71.

2. Орлов П.Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. – М.: Машиностроение, 1988. – 384 с.

3. Muratov K.R. Nfluence of rigid and frictional kinematic linkages in tool-workpiece contact on the uniformity of tool wear [Текст] // Russian Engineering Research. – 2016. – Vol. 36, № 4. – P. 321–323.

4. Некрасов В.П., Муратов Р.А. Станки с растровой кинематикой для финишной обработки поверхностей постоянной кривизны // Современные организационные технологические и конструкторские методы управления качеством: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2006. – С. 96–115.

5. Determining the Actual Contact Area in Mutual Lapping of Surfaces / K.R. Muratov, E.A. Gashev, T.R. Ablyaz [et al.] // Russian Engineering Research. – 2021. – Vol. 41, № 5. – P. 437–438.

6. Узунян М.Д. Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов. – Харьков: НТУ ХПИ, 2003. – 359 с.

Об авторах

Муратов Карим Равилович – доктор технических наук, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: karimur_80@mail.ru.

Пермяков Матвей Сергеевич – аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: permiakovmatvey@gmail.com.

Гашев Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: karimur_80@mail.ru.

А.А. Пантелеев, К.Р. Муратов, Е.А. Гашев

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Представлены результаты сравнительных исследований влияния режимов лезвийной обработки на шероховатость поверхности по параметру *Ra* изделий, полученных аддитивным и традиционным методами. Установлено, что внутренняя структура синтезированных деталей по технологии DMD оказывает значительное влияние на качество обработанной поверхности.

Ключевые слова: аддитивные технологии, лезвийная обработка, титановый сплав, шероховатость поверхности, режимы обработки.

A.A. Panteleev, K.R. Muratov, E.A. Gashev

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CUTTING MODES ON THE SURFACE ROUGHNESS OF TITANIUM ALLOY PRODUCTS

Annotation: the results of comparative studies of the blade processing modes influence on the obtained by additive and traditional methods titanium details surface roughness according to the *Ra* parameter are presented. It was found that the synthesized using DMD technology details internal structure has a significant impact on the quality of the processed surface.

Keywords: additive technologies, blade processing, titanium alloy, surface roughness, processing modes.

На предприятиях приборостроительной, машиностроительной и авиационной промышленности с каждым днем наблюдается увеличение объёма производства деталей, полученных аддитивными способами. Постепенно на задний план отходит производство мелкосерийных малогабаритных заготовок сложной формы литьем, штампованием и ковкой, так как аддитивное производство позволяет получить близкую по характеристикам заготовку с минимальным применением последующих операций механической обработки [1–3].

Очень часто заготовки, синтезированные посредством аддитивных технологий, обрабатываются при таких же условиях, что и заготовки, полученные традиционными способами: прока-

том, литьем и штампованием. В связи с особенностями внутренней структуры заготовок, полученных аддитивными методами, качество обработанной поверхности по параметрам шероховатости может в значительной степени отличаться при применении традиционных подходов к обработке. Классические рекомендации по выбору режимов обработки, таких как частота вращения и подача, зачастую не всегда подходят для обработки «напечатанных» заготовок [4, 5].

Цель исследования – сравнительный анализ параметров микрорельефа поверхности после токарной обработки заготовок, полученных посредством синтеза по технологии DMD (Direct Metal Deposition), а также заготовок, полученных методом проката. В ходе исследования проведен полный факторный эксперимент и получены эмпирические формулы при помощи регрессионного анализа [6, 7].

В качестве материала образцов был выбран титановый сплав ВТ6 по ГОСТ 19807-91 в виде круглого проката, а также заготовки, выращенные в горизонтальном направлении на промышленной установке для аддитивного производства Optomec Lens 850-г. Исследования влияния режимов обработки на шероховатость обработанной поверхности выполнялись на токарно-винторезном станке 16К20. Инструмент – токарный резец по ГОСТ 18879-73 с пластиной из твёрдого сплава марки ВК8. Измерение шероховатости обработанной поверхности по параметру Ra проводилось с помощью измерительной станции MarSurf XR20 MID GD25 по ГОСТ 2789-73 на базовой длине 0,8 мм. Для снятия верхней корки и создания одинаковой исходной поверхности образцы предварительно протачивались по наружной поверхности до диаметра 12 мм.

В качестве основных факторов для проведения регрессионного анализа, влияющих на величину шероховатости при токарной обработке резцами, выбраны: частота вращения шпинделя – n (об/мин) и подача – S (мм/об). Глубина резания во всех экспериментах составляла 0,5 мм.

В табл. 1 приведено варьирование параметров матрицы планирования. При проведении эксперимента было поставлено 9 опытов, которые проводились в зависимости от выбранных режимов обработки.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Кодовое обозначение	Нижний уровень	Верхний уровень	Средний уровень
n , об/мин	x_1	200	500	350
S , мм/об	x_2	0,05	0,25	0,15

Результаты эксперимента по шероховатости поверхности для образца из круглого проката представлены в табл. 2. Для образца, полученного методом синтеза по технологии DMD в горизонтальном направлении, – табл. 3.

Таблица 2

Результаты эксперимента для образца из круглого проката

№ опыта	n , об/мин	S , мм/об	Ra_{cp} , мкм
1	200	0,05	0,635
2	200	0,15	1,156
3	200	0,25	1,241
4	350	0,05	0,630
5	350	0,15	1,288
6	350	0,25	1,256
7	500	0,05	0,646
8	500	0,15	1,403
9	500	0,25	1,338

Таблица 3

Результаты эксперимента для синтезированного образца

№ опыта	n , об/мин	S , мм/об	Ra_{cp} , мкм
1	200	0,05	0,689
2	200	0,15	0,885
3	200	0,25	1,450
4	350	0,05	0,740
5	350	0,15	0,882
6	350	0,25	1,389
7	500	0,05	0,749
8	500	0,15	0,859
9	500	0,25	1,421

На основе методики полного факторного эксперимента и последующего регрессионного анализа определены зависимости, позволяющие установить взаимосвязь между режимами обработки и параметром Ra шероховатости обработанной поверхности. Экспериментально установлено, что регрессионная модель зависимости параметра Ra шероховатости для образца из круглого проката принимает следующий вид:

$$Y(x_1, x_2) = 1,323 + 0,084 \cdot x_1 + 0,397 \cdot x_2 + 0,017 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,367 \cdot x_2^2. \quad (1)$$

Регрессионная модель зависимости параметра Ra шероховатости для образца, полученного методом синтеза по технологии DMD, принимает следующий вид:

$$Y(x_1, x_2) = 0,875 + 0,34 \cdot x_2 + 0,196 \cdot x_2^2. \quad (2)$$

Получены поверхности отклика, показывающие зависимость параметра шероховатости Ra обработанной поверхности титанового сплава ВТ6 от режимов токарной обработки (частоты вращения и подачи) для образцов из круглого проката и образцов, полученных аддитивным методом (рис. 1).

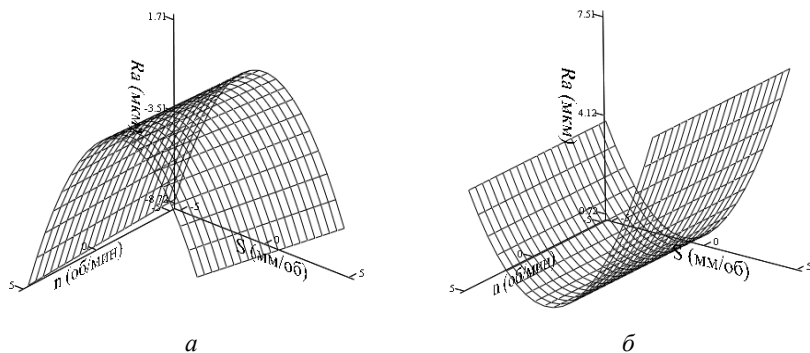


Рис. 1. Поверхность отклика полинома регрессионной модели шероховатости, обработки титанового сплава ВТ6, полученного:
а – методом проката; б – аддитивным методом

Установлено, что увеличение частоты вращения не оказывает значимого влияния на шероховатость обработанной поверхности по параметру Ra , независимо от метода получения исходной заготовки. В свою очередь, такой фактор, как «подача» оказывает существенное влияние на микрорельеф исследуемой поверхности. При обработке резанием круглого проката с увеличением подачи от 0,05 до 0,2 мм/об шероховатость возрастает в 2,2 раза и составляет $Ra = 1,37$ мкм. Несмотря на то, что увеличение подачи влечёт за собой увеличение шероховатости, в случае с синтезированной заготовкой данная закономерность имеет качественно противоположный вид. В первом случае – это парабола, во втором – перевёрнутая парабола (рис. 2, а, б), что свидетельствует о значительных различиях в закономерностях, связывающих входные параметры режимов обработки с выходными параметрами шероховатости.

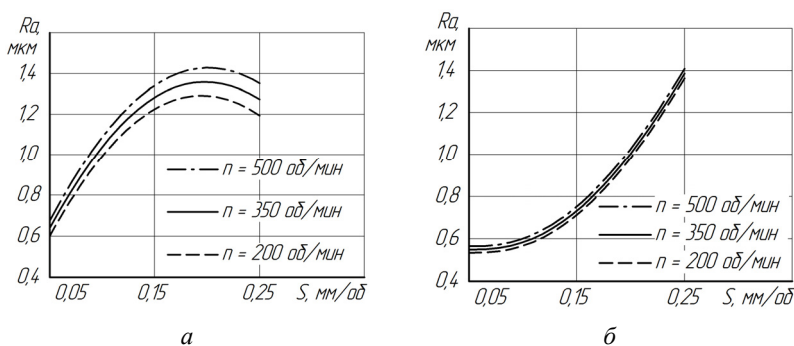


Рис. 2. График зависимости шероховатости Ra от подачи S , при $n = 200, 350, 500$ об/мин: а – полученного методом проката; б – полученного аддитивным методом

Таким образом, на основе проведенного анализа установлено, что образование шероховатости обработанной поверхности в процессе резания при прочих равных условиях в полной мере зависит не только от режимов обработки и используемого инструмента, но и от метода получения заготовок. При одинаковом химическом составе и твёрдости микроструктура изделий, получаемых по методу DMD, может в значительной степени отличаться от микроструктуры традиционных видов заготовок [8, 9]. Поэтому при-

менение «стандартных» режимов резания при обработке изделий аддитивной промышленности может в значительной степени снижать эффективность обработки по параметрам качества. Предлагаемые регрессионные модели позволяют подобрать подачу и частоту вращения для достижения заданного качества поверхности при лезвийной токарной обработке титанового сплава ВТ6, полученного методом DMD.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по государственному заданию FSNM-2020-0028.

Список литературы

1. Аббасов А.Э. Системное исследование и прогнозирование с помощью технологии быстрого прототипирования // Информационно-технологический вестник. – 2015. – № 3 (5). – С. 3–15.
2. Цифровая технология 3D промышленного производства / В.В. Александров, В.В. Александрова, А.А. Зайцева, С.П. Хурс // Труды СПИИРАН. – 2010. – Вып. 4 (15). – С. 85–92.
3. Литунев С.Н., Слободнюк В.С., Мельников Д.В. Обзор и анализ аддитивных технологий. Ч. 1 // Омский научный вестник. – 2016. – № 1 (145).
4. Обзор и анализ аддитивных технологий. Ч. 1 / С.Н. Литунев, В.С. Слободнюк, Д.В. Мельников [и др.] // Омский научный вестник. – 2016. – № 5 (149).
5. Чемодуров А.Н. Применение аддитивных технологий в производстве изделий машиностроения // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2016. – Вып. 8, ч. 2
6. Реброва И.А. Планирование эксперимента: учеб. пособие. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.
7. Петков А.А. Ортогональное центральное композиционное планирование в технике и электрофизике высоких напряжений: учеб.-метод. пособие. – Харьков: НТУ ХПИ, 2007. – 61 с.
8. Сапрыкина Н.А., Сапрыкин А.А., Архипова Д.А. Влияние условий послойного лазерного спекания на качество спечённого поверхностного слоя изделий / Инновационные технологии и экономика в машиностроении: IV Междунар. науч.-практ. конф. – 2015. – С. 178–183.

9. Анализ структуры образцов, полученных DMLS- и SLM-методами быстрого прототипирования / Ю.А. Безобразов [и др.] // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. – 2012. – С. 154–157.

Об авторах

Муратов Карим Равилевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: karimur_80@mail.ru.

Пантелеев Андрей Андреевич – аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: karimur_80@mail.ru.

Гашев Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: karimur_80@mail.ru.

И.В. Осинников, А.А. Ширяев, Т.Р. Абляз

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

В работе установлено, что в процессе КПЭЭО сплава ВЖЛ14 и стали ЭП517Ш в поверхностном слое возникают растягивающие остаточные напряжения (ОН). Установлено, что при повышении силы тока значение ОН повышается, а при увеличении времени действия импульса наблюдается их снижение. Также установлено, что сила тока имеет большее влияние на остаточные напряжения, чем время действия импульса. Следовательно, при выборе режима КПЭЭО большее значение имеет именно этот параметр. Рекомендуется снять дефектный слой механически, чтобы избежать распространения микротрещин. При этом возникнут полезные сжимающие ОН.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, режимы обработки, электрод-инструмент, остаточные напряжения.

I.V. Osinnikov, A.A. Shiryayev, T.R. Ablyaz

STUDY OF THE FORMATION OF RESIDUAL STRESSES DURING ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

It has been established in the work that during the process of EDM of the VGL14 alloy and EP517Sh steel, tensile residual stresses arise in the surface layer. It has been established that an increase in the current strength increases the residual stresses value, and with an increase in the duration of the pulse, on the contrary, it decreases. It has also been found that the current strength has a greater influence on the residual voltages than the duration of the pulse. Therefore, this parameter is of greater importance when choosing the EDM mode. It is recommended to remove the defective layer mechanically to avoid the propagation of microcracks. In this case, useful compressive residual stresses will appear.

Keywords: electrical discharge machining, machining mode, electrode-tool, modeling, residual stresses.

Технология копирувально-прошивной электроэрозионной обработки (КПЭЭО) находит широкое применение при обработке ответственных изделий, работающих в условиях циклических температурных и ударных нагрузок [1]. Важной задачей является обеспечение эксплуатационных свойств данных изделий.

В процессе КПЭЭО происходит локальное расплавление материала и его повторное затвердевание. В результате этого воз-

никают растягивающие остаточные напряжения (ОН). Их наличие существенно влияет на долговечность и эксплуатационные свойства изделия и конструкции в целом. Отмечено, что в случае превышения ОН-предела текучести обрабатываемого материала на поверхности могут образоваться микротрещины [2]. Величина растягивающих остаточных напряжений определяется толщиной белого слоя, которая пропорциональна энергии импульса [3].

На данный момент не в полной мере изучен вопрос влияния режимов КПЭЭО на величину и характер остаточных напряжений, возникающих в обрабатываемом изделии.

Цель работы – исследование зависимости величины и характера остаточных напряжений, возникающих в процессе КПЭЭО, от параметров режимов обработки.

В качестве обрабатываемых материалов выбраны жаропрочный литейный сплав на никелевой основе ВЖЛ14 ОСТ 1 90126-85 и коррозионно-стойкая жаропрочная сталь мартенситного класса 15X12H2ВФАБ-Ш (ЭП517-Ш) ГОСТ 2246-70.

Экспериментальные образцы представляют собой пластины толщиной 5 мм. КПЭЭО образцов производилась на копировально-прошивном электроэрозионном станке Smart CNC. Использован прямоугольный электрод-инструмент (ЭИ) 20×20×5 мм. В качестве материала ЭИ выбрана медь марки М1 ГОСТ 859-2001. В качестве варьируемых параметров выбраны сила тока (I) и время действия импульса (Ton). Напряжение составляло 50 В. Режимы КПЭЭО представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Режимы КПЭЭО

№ режима	Сила тока (I), А	Время включения импульса (Ton), мкс
1	10	200
2	10	100
3	5	200
4	5	100

Определение ОН и обработка результатов измерений проводились методом рентгеновской дифрактометрии (РД) в соответствии со стандартом EN 15305: 2009 «Non-destructive Testing – Test

Method for Residual Stress analysis by X-ray Diffraction». Использован роботизированный комплекс Xstress 3000.

Измерения производились на поверхностях полученным методом КПЭЭО, а также на участках, не подвергавшихся обработке. Определение уровня ОН производилось в трех точках для каждого обработанного паза по двум направлениям: -90° и 0° .

Режимы измерения ОН методом рентгеновской дифрактометрии (РД) представлены в табл. 2. Математическая обработка результатов измерения ОН проводится в программе управляющей работой дифрактометра Xtronic.

Т а б л и ц а 2

Режимы измерения ОН

Параметр	Значение
Метод измерения	Модифицированный « χ -метод»
Коллиматор $\varnothing$	2 мм
Направления φ к точке анализа	0° , -90°
Анод рентгеновской трубки	Cr
Ванадиевые фильтры	Нет
Дифракционная линия (hkl)	(220)
Угол дифракции 2θ	156,7 град
Глубина проникновения рентгеновского излучения при $\chi = 0^\circ$	6,3 мкм
Время экспозиции в одном положении гониометра	10 с
Углы наклона χ	в диапазоне $[-30^\circ; 30^\circ]$
Количество углов наклона $\pm\chi$	13, где $N + \chi = N - \chi = 7$
Колебания пучка рентгеновского излучения (осцилляция)	3 град

На основе полученных данных построены гистограммы (рисунок).

Установлено, что в процессе КПЭЭО сплава ВЖЛ14 и стали ЭП517Ш в поверхностном слое возникают растягивающие остаточные напряжения. Наблюдается изотропия ОН в обоих направлениях. Это связано с равномерным распределением попадания единичных разрядов в процессе КПЭЭО. Изменение ОН для обоих материалов носит соразмерный характер и в большей степени зависит

от режимов обработки. Выявлено, что повышение силы тока значения ОН повышается, а при увеличении времени действия импульса, напротив, снижается. Показано, что сила тока в большей степени влияет на величину растягивающих ОН, чем время действия импульса. С целью снижения вероятности развития микротрещин измененный поверхностный слой рекомендуется удалить.

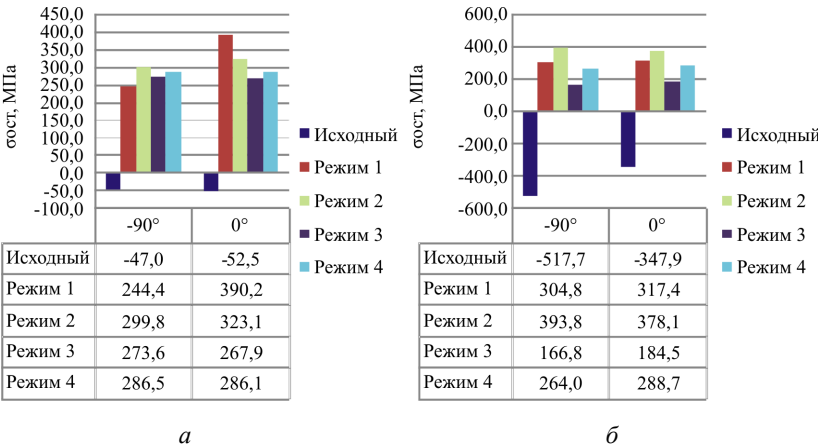


Рис. Гистограмма остаточных напряжений:
а – ВЖЛ14; б – ЭП517Ш

Список литературы

1. Swiercz R., Oniszcuk-Swiercz D., Chmielewski T. Multi-Response Optimization of Electrical Discharge Machining Using the Desirability Function // Micromachines. – 2019. – № 10. – P. 72.
2. Świercz R., Oniszcuk-Świercz D., Chmielewski T. Multi-response optimization of electrical discharge machining using the desirability function // Micromachines. – 2019. – Vol. 10 (1).
3. Investigation into the Characteristics of White Layers Produced in a Nickel-Based Superalloy from Drilling Operations / C. Herbert, D. Axinte, M. Hardy, P.D. Brown // MachiningScienceandTechnology. – 2012. – № 16 (1). – P. 40–52.

Об авторах

Абляз Тимур Ризович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

Осинников Илья Владимирович – ведущий инженер кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ilyuhaosinnikov@bk.ru.

Ширяев Алексей Александрович – ведущий технолог кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alex_sh_23-@mail.ru.

Э.В. Патракова, Д.А. Борисов, Т.Р. Абляз

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОВОЛОЧНО-
ВЫРЕЗНОЙ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИБРИДНЫХ АДДИТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

Получена математическая модель проволочно-вырезной обработки наплавленных поверхностей изделий. При моделировании в качестве материала основы выбрана сталь 45, в качестве наплавленного материала выбрана медь марки М1. Получены модели формирования и распределения температурных полей внутри обрабатываемых материалов. Установлено, что температурные поля внутри обрабатываемого материала при единичном разряде при электроэрозионной обработке имеют вид лунок. Становится возможным прогнозирование формирования структурных изменений на обрабатываемой поверхности изделия.

Ключевые слова: проволочно-вырезная электроэрозионная обработка, наплавка, математическая модель.

E.V. Patrakova, D.A. Borisov, T.R. Ablyaz

**RESEARCH OF THERMAL PROCESSES DURING WIRE EDM
OF PRODUCTS PRODUCED USING HYBRID ADDITIVE TECHNOLOGIES**

Abstract: A mathematical model of wire-cut EDM of deposited surfaces of products is obtained. When modeling, steel 45 was chosen as the base material, copper grade M1 was chosen as the deposited material. Models of formation and distribution of temperature fields inside processed materials are obtained. It has been established that the temperature fields inside the material being processed during a single discharge during EDM have the form of dimples. It becomes possible to predict the formation of structural changes on the machined surface of the product.

Keywords: wire-cut electrical discharge machining, surfacing, mathematical model.

Актуальной задачей современного машиностроения является создание и внедрение в производство слоистых функциональных материалов с заданным комплексом механических и физико-химических свойств для обеспечения конструкционной прочности деталей на протяжении всего заданного ресурса их эксплуатации [1–3].

Известен ряд методов увеличения износостойчивости путем обработки поверхностных слоев. При гибридной технологии плазменной наплавки поверхностный слой образует единое целое с основным сплавом. Такие технологии находят применение при восстановлении изношенных или улучшении прочностных характеристик новых деталей механизмов и машин [1, 2].

Одним из видов электрофизических методов обработки функциональных слоистых материалов является технология проводочно-вырезной электроэрозионной обработки (ПВЭЭО) [4–7].

Произведено моделирование формирования импульсного разряда между электродом-проволокой и электродом-деталью, оно осуществлялось с помощью пакета прикладного программного обеспечения Comsol Multiphysics 5.5.

В результате математического моделирования процесса электроэрозионной обработки получены зависимости температуры внутри обрабатываемых материалов при заданных режимах обработки при $T_{on} = 20$ мкс (рис. 1) и при $T_{on} = 50$ мкс (рис. 2).

Пиковое значение температуры наблюдается при $T_{on} = 50$ мкс у меди и достигает 1100°C .

При воздействии единичного импульса на обрабатываемой поверхности формируется геометрия единичной лунки, которая зависит от повышения энергии импульса (рис. 3).

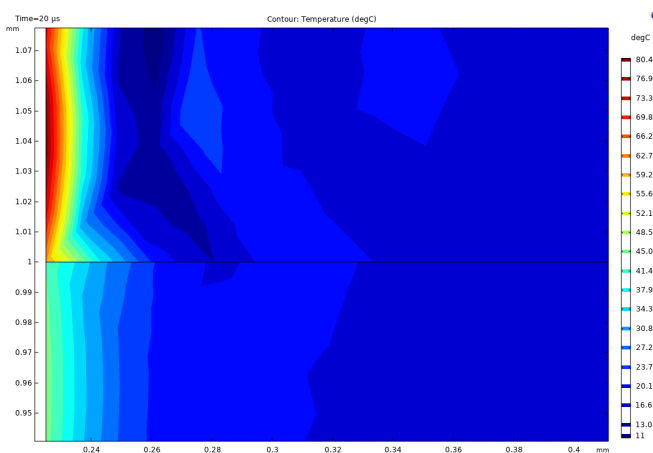


Рис. 1. Температурные изменения при $T_{on} = 20$ мкс

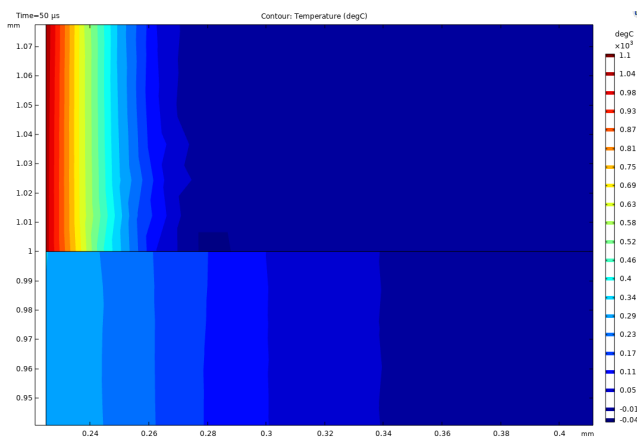


Рис. 2. Температурные изменения при $T_{оп} = 50$ мкс

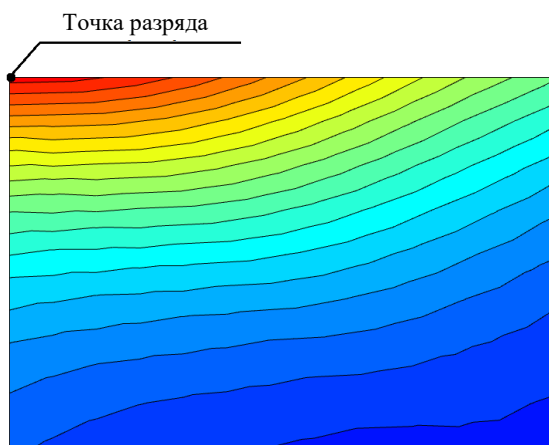


Рис. 3. Температурные поля при единичном разряде

Выводы

Получены математические модели формирования и распределения температурных полей на поверхностях обрабатываемых металлов, полученных методом наплавки, при электроэрозионной обработке. Отмечена неоднородность распределения тепловых полей в процессе ПВЭЭО наплавленных поверхностей.

Отмечено, что максимальная температура при моделировании процесса ПВЭЭО двух материалов наблюдается на меди. Связано это с её высокой теплопроводностью.

Список литературы

1. Additive Manufacturing of High-performance Metals and Alloys. Modeling and Optimization: [monograph] / D. Trushnikov, O. Smetannikov, A. Perminov [et al.]; ed. by I. Shishkovsky. – London: InTech, 2018. – [252] p.

2. Study of the EDM Process of Bimetallic Materials Using a Composite Electrode Tool / T.R. Ablyaz, E.S. Shlykov, K.P. Muratov, A.V. Zhurin // Materials [Electronic resource]. – 2022. – Vol. 15, Iss. 3, February (I). – Art. 750. – P. 1–13.

3. Баева Л.С., Маринин А.А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов // Вестник МГТУ. – 2014. – Т. 17, № 1. – С. 7–12.

4. Немилов Е.Ф. Электроэрозионная обработка материалов: учебник для ПТУ. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 160 с.

5. Фотеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980. – 184 с.

6. Исследование процесса электроэрозионного прошивания отверстий / С.В. Биленко, М.Ю. Сарилов, Е.Н. Бурдасов, А.Э. Маслацова // Fundamentalresearch. – 2012. – № 9. – С. 286–293.

7. Copper-coated electrodes for electrical discharge machining of 38X2H2MA steel / T.R. Ablyaz, E.S. Shlykov, S.S. Kremlev // Russian Engineering Research. – 2017. – Vol. 37, № 10. – P. 910–911.

Об авторах

Борисов Денис Андреевич – аспирант кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

Абляз Тимур Ризович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

Патракова Эвелина Владимировна – бакалавр кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

В.В. Ширяев, Е.С. Шлыков, Т.Р. Абляз

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПАКЕТИРОВАННОЙ ПРОВОЛОЧНО-ВЫРЕЗНОЙ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены способы пакетированной проволочно-вырезной электроэрозионной обработки криволинейных поверхностей изделий из полимерных композитных материалов. Установлен производительный способ обработки пакета полимерных композитных материалов из трех заготовок с попеременным расположением токопроводящих слоев. Данный способ позволяет осуществлять стабильную обработку без обрывов проволоки и получить заданный контур профиля криволинейной поверхности заготовки из полимерного композитного материала со скоростью 0,5 мм/мин. Полученный результат позволяет расширять технологические возможности изготовления изделий из полимерных композитных материалов, в том числе при изготовлении криволинейных изделий, а также применение технологии проволочно-вырезной электроэрозионной обработки при пакетной резке заготовок из полимерных композитных материалов.

Ключевые слова: технология электроэрозионной обработки, композитный материал, пакетированная обработка, криволинейная поверхность.

E.S. Shlykov, T.R. Ablyaz, V.V. Shiriaev, K.R. Muratov

INVESTIGATION OF PACKAGED WIRE-CUT EDM OF CURVED SURFACES FROM POLYMER COMPOSITE MATERIALS

The methods of packaged wire-cut electro discharge machining of curvilinear surfaces of products made of polymer composite materials are considered. This method allows stable processing without wire breaks and allows obtaining a clear contour of the profile of the curved surface of the polymer composite materials workpiece at a speed of 0.5 mm/min. The result obtained makes it possible to expand the technological capabilities of manufacturing products from polymer composite materials, including the production of small-sized curvilinear products, as well as the use of wire-cut electro discharge machining technology for batch cutting of workpieces from polymer composite materials.

Keywords: EDM technology, composite material, stacked machining, curved surface.

На основе научно-исследовательских и практических работ по электроэрозионной обработке полимерных композитных мате-

риалов (ПКМ) предложен способ проволочно-вырезной электроэрозионной обработки (ПВЭЭО) ПКМ с применением токопроводящих слоев [1–2]. В случае пакетной ПВЭЭО резки материалов с ограниченной токопроводимостью необходимо наличие токопроводящих слоев между заготовками из ПКМ [1,2].

Обрабатываемый пакет состоит из слоев материалов маски и слоев ПКМ. Одним из основных условий обеспечения высокоточной ПВЭЭО пакетированных заготовок является определение конструктивных параметров собранного пакета, таких как очередность и количество наложения токопроводящих слоев на заготовки из ПКМ. Актуальной проблемой является обработка деталей криволинейного профиля с малыми габаритами, собранных в пакет [3–5]. Не в полной мере изучены вопросы точности и качества данной обработки.

В работе проведено исследование обработки углов при ПВЭЭО ПКМ одинарной заготовки из ПКМ с одним токопроводящим слоем, пакета из трех заготовок с расположением токопроводящих слоев по краям заготовки, а также пакета из трех заготовок с попеременным расположением токопроводящих слоев. В качестве обрабатываемого материала выбраны пластины толщиной 2 мм каждая из ПКМ ВКУ-39. В качестве токопроводящих слоев выбраны титановые пластины толщиной 1 мм.

Исследование процесса обработки ПКМ методом ПЭЭО проводилось на проволочно-вырезном электроэрозионном станке EcoCut. В качестве электрода-инструмента выбрана латунная проволока диаметром 0,25 мм. В качестве рабочей жидкости выбрана дистиллированная вода. Обработка проходила при времени включения импульса $T_{on} = 21$ мкс, времени выключения импульса $T_{off} = 60$ мкс, напряжении $U = 50$ В. Скорость смотки проволоки $V_{пров} = 1$ м/мин.

Установлено, что при ПВЭЭО криволинейного профиля ПКМ одинарной заготовки из ПКМ с одним токопроводящим слоем наблюдалось стабильное искрообразование. На рис. 1 можно наблюдать отсутствие скалывания углов, а также четкий контур профиля заготовки. Скорость обработки составляла 0,8 мм/мин.

Во время ПВЭЭО углов криволинейного профиля ПКМ из трех заготовок с расположением токопроводящих слоев по краям заготовки происходили частые обрывы электрода-инструмента при врезании в заготовку, а также при непосредственной обработке вершин углов. Также во время обработки наблюдалось нестабильное искрообразование. Скорость обработки составляла 0,2 мм/мин.

На рис. 2 представлен профиль обработанных углов. Наблюдается скалывание вершин углов порядка 500–700 мкм, а также вырывы волокон композита.

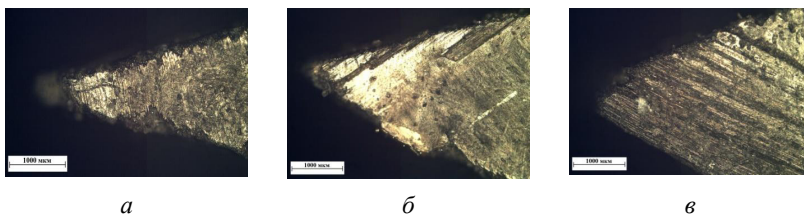


Рис. 1. Углы криволинейного профиля после ПВЭЭО ПКМ одинарной заготовки из ПКМ с одним токопроводящим слоем

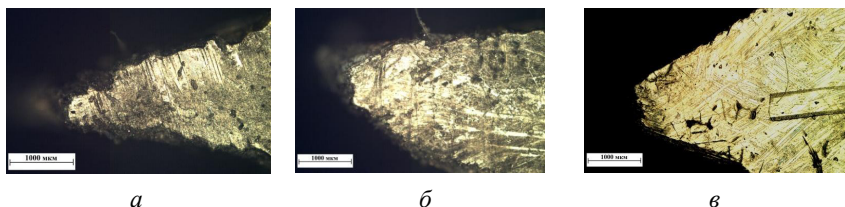


Рис. 2. Углы криволинейного профиля после ПВЭЭО пакета ПКМ из трех заготовок с расположением токопроводящих слоев по краям заготовки

При обработке пакета ПКМ из трех заготовок с попеременным расположением токопроводящих слоев на протяжении всего времени обработки между электродом-инструментом и пакетом заготовок из ПКМ возникает стабильный канал проводимости с постоянной энергией импульса (рис. 3).

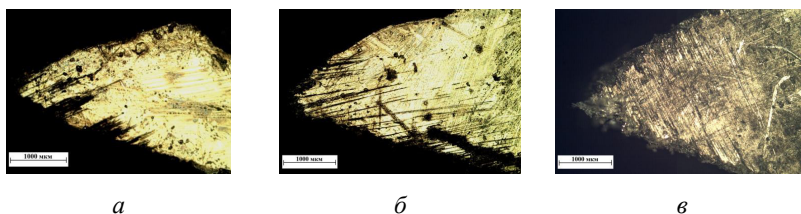


Рис. 3. Углы криволинейного профиля после ПВЭЭО пакета ПКМ из трех заготовок с попеременным расположением токопроводящих слоев

Обрывов проволоки не происходило. Криволинейный профиль заготовки имеет четкие очертания. Скалывание углов практически отсутствует. Скорость обработки составляла 0,5 мм/мин.

Выводы

Установлено, что при ПВЭЭО криволинейного профиля ПКМ одинарной заготовки из ПКМ с одним токопроводящим слоем наблюдалось отсутствие скалывания углов, а также четкий контур профиля заготовки. Максимальная скорость обработки составляла 0,8 мм/мин.

Показано, что во время ПВЭЭО углов криволинейного профиля ПКМ из трех заготовок с расположением токопроводящих слоев по краям заготовки происходили частые обрывы электрода инструмента и нестабильное искрообразование. Максимальная скорость обработки 0,2 мм/мин. Наблюдается скалывание вершин углов порядка 500–700 мкм, а также вырывы волокон композита.

При обработке пакета ПКМ из трех заготовок с попеременным расположением токопроводящих слоев процесс протекал стабильно без обрывов проволоки. Профиль имеет четкий контур. Скалывание углов практически отсутствует. Максимальная скорость обработки составляла 0,5 мм/мин.

Список литературы

1. Analysis of Wire-Cut Electro Discharge Machining of Polymer Composite Materials / T.R. Ablyaz, E.S. Shlykov, K.R. Muratov, S.S. Sidhu // *Micromachines*. – 2021. – № 12. – P. 571 [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.3390/mi12050571> (дата обращения: 04.04.2021).
2. Electric-discharge machining of polymer composites / T.R. Ablyaz, K.R. Muratov, E.S. Shlykov [et al.] // *Russ. Eng. Res.* – 2019. – Vol. 39, № 10. – P. 898–900.
3. Fundamental geometry analysis of wire electrical discharge machining in corner cutting / W.J. Hsue [et al.] // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. – 1999. – № 39. – P. 651–667.
4. Han F., Zhang J., Soichiro I. Corner error simulation of rough cutting in wire EDM // *Precision engineering*. – 2007. – № 31. – P. 331–336.

5. Altpeter F. Perez R. Relevant topics in wire electrical discharge machining control // Journal of Materials Processing Technology. – 2004. – № 149. – P. 147–151.

Об авторах

Шлыков Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: Kruspert@mail.ru.

Абляз Тимур Ризович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

Ширяев Владислав Витальевич – аспирант кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: vlad2117@gmail.com.

В.В. Осинников, В.В. Ширяев, Е.С. Шлыков, Т.Р. Абляз

СОЗДАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

В работе представлен прототип роботизированного комплекса для электроэрозионной обработки российских полимерных композитных материалов нового поколения. Комплекс позволит повысить точность изготовления перспективных деталей, снизить экономические затраты на их производство и повысить конкурентоспособность продукции российских машиностроительных предприятий на мировом рынке. С применением роботизированного комплекса проведена электроэрозионная обработка отверстий в изделии из полимерного композитного материала.

Ключевые слова: технология электроэрозионной обработки, композитный материал, роботизированный комплекс, перфорация отверстий.

V.V. Osinnikov, V.V. Shiryaev, E.S. Shlykov, T.R. Ablyaz

CREATION OF ROBOTIC EQUIPMENT FOR EDM

The paper tested the accuracy of a robotic complex of automatic equipment for EDM of new generation Russian polymer composite materials. This complex allows to increase the efficiency of production of promising parts, reduce the economic effect of their production and increase the production efficiency of Russian machine-building enterprises in the world market. With the B.B. use of a robotic complex, EDM of holes in a product made of a polymer composite material was carried out.

Keywords: EDM technology, composite material, robotic complex, hole punching.

Применение технологии электроэрозионной обработки (ЭЭО) позволяет обрабатывать сложнопрофильные изделия, выполненные из полимерных композитных материалов (ПКМ). Однако не в полной мере решена задача автоматизации процесса обработки ПКМ с применением технологии ЭЭО. Одним из перспективных направлений развития технологии ЭЭО является применение роботизированных комплексов в качестве органов перемещения электрода-инструмента (ЭИ) [1].

Современные промышленные роботы широко применяются при выполнении сварочных, вспомогательных операций, а также

в механической обработке. Промышленные роботы активно используются для операций раскроя металла с помощью плазмы, лазера и гидроабразивной резки. Применение роботизированного комплекса в сочетании с технологией ЭЭО позволит обрабатывать элементы фасонных поверхностей без применения сложнопрофильных ЭИ и дорогостоящей оснастки, путем применения многоосевого орбитального перемещения рабочих органов системы [2].

Компоновка станков для ЭЭО не требует наличия мощных приводов главного и вспомогательного движения. Основным рабочим органом электроэрозионных станков является генератор импульса, который располагается вне зоны обработки. Становится возможным размещение и перемещение ЭИ по поверхности обрабатываемой заготовки без обеспечения жесткой кинематической связи с генератором импульса [3].

В настоящее время проектированием гибких электрофизических модулей занимаются ведущие производители электроэрозионного оборудования Sodic (Япония), Mitsubishi Electric (Япония), а также ведущие исследовательские университеты нашей страны: МГТУ им. Н.Э. Баумана, Тульский государственный университет, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого и др. Однако не в полной мере решены конструкторские и технологические задачи по проектированию и изготовлению данного оборудования. Отсутствуют научно обоснованные подходы к разработке систем перемещения ЭИ по обрабатываемой поверхности, и кинематика не располагает необходимым комплексом эффективных управляющих воздействий на процесс обработки. В связи с этим исследование и разработка технологии и оборудования для эффективной, управляемой ЭЭО российских композитных материалов нового поколения является актуальной научно-технической задачей.

Разработка технологии и оборудования для ЭЭО российских функциональных металлических и ПКМ нового поколения позволит повысить точность изготовления перспективных деталей, снизить экономические затраты на их производство и повысить конкурентоспособность продукции российских машиностроительных предприятий на мировом рынке.

На базе ЦКП Центр аддитивных технологий ФГАОУ ВО ПНИПУ спроектирован прототип комплекса для проведения ЭЭО ПКМ.

В качестве прототипа роботизированного комплекса выбран комплект оборудования, основанный на шестикоординатном роботизированном комплексе и гибком электроэрозионном модуле. Схема работы модуля представлена на рис. 1.

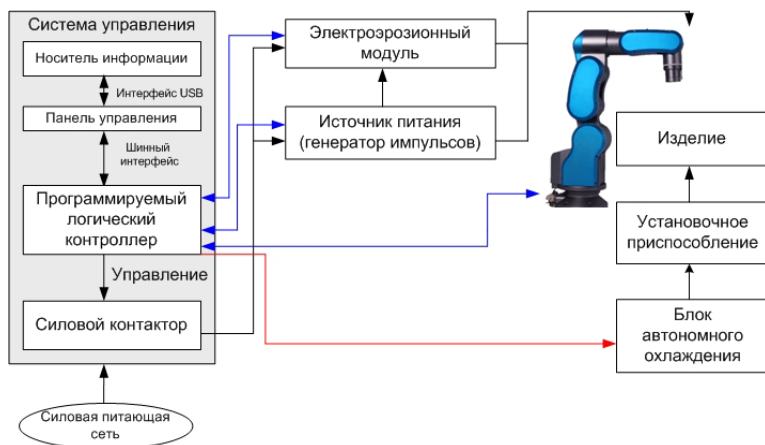


Рис. 1. Схема работы прототипа роботизированного комплекса

Проект робота-манипулятора с установленной системой подачи ЭИ представлен на рис. 2.

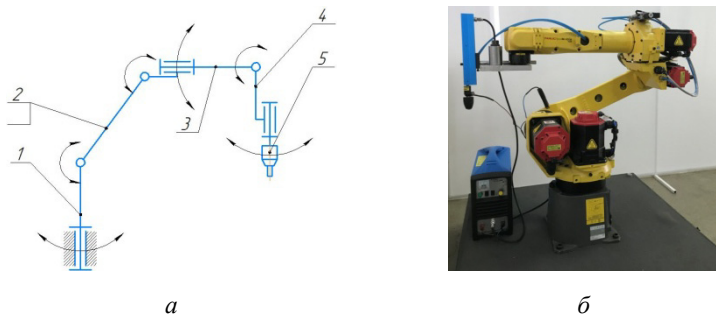


Рис. 2. Проект комплекса автоматизированного оборудования:
 а – кинематическая схема, где 1 – Основание; 2 – Первое плечо;
 3 – Второе плечо; 4 – Третье плечо; 5 – Электроэрозионный патрон;
 б – прототип роботизированного комплекса

В основании 1 робот, в составе роботизированного комплекса, способен совершать вращательные движения, угол которых составляет 340° . К основанию крепится первое плечо 2, которое может совершать относительно основания вращательные движения в 130° . Второе плечо 3 вращается на 220° . Третье плечо 4 относительно центра второго плеча имеет вращение в 360° . Электроэрозионный патрон 5 также может вращаться относительно центра предыдущего плеча на 360° . С помощью данного комплекса проведены эксперименты по ЭЭО перфорированных отверстий в ПКМ.

При использовании роботизированного комплекса формообразование отверстий осуществляется в результате комплексного сочетания движения всех звеньев робота и вращательного движения шпинделя с ЭИ.

ЭЭО производилась двумя ЭИ: цилиндрическим, с диаметром 2 мм, и прямоугольным, с размерами 10×2 мм. Режимы обработки и методика проведения эксперимента основаны на работе [3]. На рис. 3 показаны сквозные отверстия после перфорации цилиндрическим ЭИ (*а*) и глухие пазы после перфорации прямоугольным ЭИ (*б*).

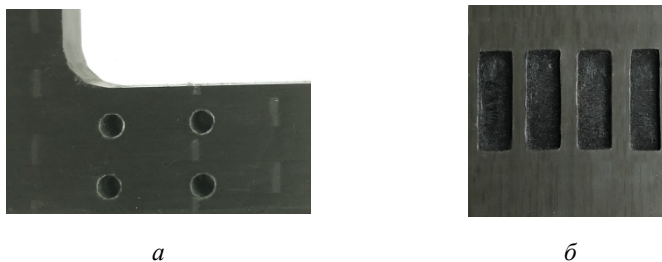


Рис. 3. Сквозные отверстия после перфорации: *а* – цилиндрическим ЭИ; *б* – глухие пазы после перфорации прямоугольным ЭИ

Применение роботизированного комплекса позволило обеспечить заданную точность обработки отверстий в изделии из ПКМ.

В рамках проведенного исследования спроектирован прототип комплекса автоматизированного оборудования для ЭЭО российских ПКМ нового поколения, который позволит повысить точность изготовления перспективных деталей, снизить экономические затраты на их производство и повысить конкурентоспо-

способность продукции российских машиностроительных предприятий на мировом рынке.

Экспериментально показана эффективность применения данного комплекса для перфорации отверстий в изделиях из ПКМ.

Список литературы

1. Electric-discharge machining of polymer composites / T.R. Ablyaz, K.R. Muratov, E.S. Shlykov [et al.] // Russ. Eng. Res. – 2019. – Vol. 39, № 10. – P. 898–900.

2. Автоматизация технологических процессов / А.Г. Схиртладзе, С.В. Бочкарев, А.Н. Лыков, В.П. Борискин. – М.: ООО «ТНТ», 2013.

3. Патент РФ № 2730321С1, 05.08.2019. Способ электроэрозионной прошивки отверстий // Патент России № 2730321С1. 2019 / Абляз Т.Р., Шлыков Е.С., Муратов К.Р. [и др.].

Об авторах

Абляз Тимур Ризович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

Шлыков Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: Kruspert@mail.ru.

Ширяев Владислав Витальевич – аспирант кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: vlad2117@gmail.com.

Осинников Василий Владимирович – бакалавр кафедры «Инновационные технологии машиностроения», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

А.В. Селезнева, И.И. Демин, И.О. Черкасова

ОЦЕНКА СОТРУДНИКОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПО МЕТОДУ «360 ГРАДУСОВ»

Описан процесс оценки персонала, приведен метод «360 градусов». Проанализированы преимущества, недостатки и возможная оптимизация метода. Разработана анкета для оценки персонала по методу «360 градусов» и предложен способ графического отображения результатов.

Ключевые слова: оценка персонала, метод «360 градусов», soft skills, hard skills.

A.V. Selezneva, I.I. Demin, I.O. Cherkasova

ASSESSMENT OF AN EMPLOYEES OF A MACHINE-BUILDING ENTERPRISE ACCORDING TO THE METHOD OF «360 DEGREES»

The process of personnel assessment is described, the method «360 degrees» is given. The advantages, disadvantages and possible optimization of the method are analyzed. A questionnaire was developed for personnel assessment using the «360 degrees» method and a method for graphical display of the results was proposed.

Keywords: personnel assessment, «360-degree» method, soft skills, hard skills.

Интерес к научному подходу в организации рабочего процесса и контроля компетентности сотрудников возник еще в начале прошлого столетия. К середине 20 века уже были разработаны первые схемы и методы тестирования для определения эффективности труда. Однако повсеместно анализ работоспособности стал применяться в российских компаниях только сравнительно недавно. На сегодняшний день ведется активная деятельность по систематизации существующих в этой области знаний, их расширение и углубление, подготовка инновационных методов и технологий, позволяющих оценить работу трудового коллектива.

Многие машиностроительные компании сталкиваются с проблемой адекватной оценки сотрудников. В арсенале передовых компаний существуют подходы к оценке персонала, отличающиеся по времени, стоимости и периоду проведения [1]. С помощью этих методов можно определить профессиональный уровень и карьер-

ные амбиции сотрудников; как сотрудники справляются со своими должностными обязанностями; «слабые места» в коллективе и т.п.

В целом процесс оценки персонала состоит из пяти этапов: определение сроков, целей, объемов, возможных результатов оценки; понимание особенности деятельности оцениваемых сотрудников и специфики структуры организации и формирование списка критериев оценки; планирование проведения процедур оценки; сбор персональной кадровой документации; интерпретация и визуализация результатов оценки персонала [2].

Одним из современных популярных методов оценки трудовых ресурсов является метод «360 градусов» [3]. Его особенность заключается в том, что проводится всесторонняя оценка персонала как коллегами и руководителями, так и самим сотрудником, и оценивают не результаты деятельности, а процесс взаимодействия людей, то есть поведение или, другими словами, *soft skills*.

В ходе данной оценки заполняются специальные анкеты, либо письменно, либо с помощью онлайн-сервисов, далее анализируются результаты и даются рекомендации. Преимуществами данного метода являются его демократичность, вариативность критериев оценки и возможность их моделирования под требования корпоративных стандартов. Недостатками данного метода является необходимость обеспечения высокой степени конфиденциальности, оценка только *soft skills*, а также стрессовое воздействие на сотрудников.

Авторами предложен вариант перечня критериев оценки персонала по методу «360 градусов», который характеризует следующие группы компетенций: ответственность (№ 7, 11), инициативность (№ 2, 6), самостоятельность (№ 3, 9), понимание бизнес-среды (вопросы 1, 8), устойчивость (№ 5, 10), коммуникабельность (№ 4, 12). Для оценки одного сотрудника анкета заполняется самим сотрудником, его руководителем и одним из его коллег. Для оценки применяется пятибалльная шкала оценки сформированности компетенций, где: 5 – проявляется всегда; 4 – проявляется в большинстве случаев; 3 – проявляется примерно в половине случаев; 2 – проявляется редко; 1 – не проявляется никогда (табл. 1).

Результаты трех заполненных анкет по одному сотруднику отражаются в табл. 2.

Таблица 1

**Формулировки критериев для оценки сотрудника по методу
«360 градусов»**

№ п/п	Критерии	Ответы				
		1	2	3	4	5
1	Видит взаимосвязь и взаимозависимость разных подразделений и функций в организации, понимает ее интересы в целом					
2	Всегда проявляет инициативу, вносит рационализаторские предложения					
3	Умеет эффективно действовать в условиях неопределенности					
4	Умеет управлять конфликтом с позиции сотрудничества, т.е. таким образом, чтобы все стороны были в максимальном выигрыше					
5	Умеет концентрироваться на задаче, внимателен к мелочам					
6	Приветствует изменения, принимает самостоятельные решения					
7	Умеет признавать свои ошибки и брать на себя ответственность за них					
8	Знает внешнюю среду организации, конкурентов					
9	Умеет анализировать возможности, риски, а также рассчитывать и планировать ресурсы					
10	Не допускает ошибок даже в мелких деталях					
11	Стремится решить проблему максимально быстро и эффективно, причем не всегда самостоятельно, а с привлечением экспертов (при необходимости)					
12	Старается найти одинаковые интересы и общий язык с коллегами в решении совместных задач					

Таблица 2

Сводная таблица результатов

Категория	Номера вопросов	Само- оценка А ₁	Оценка руководи- теля А ₂	Оценка коллеги А ₃	Сумма баллов АΣ	Мак балл
Ответственность	7, 11					30
Инициативность	2, 6					30
Самостоятельность	3, 9					30
Понимание бизнес-среды	1, 8					30
Устойчивость	5, 10					30
Коммуникабельность	4, 12					30

Далее баллы складываются по пяти категориям. Общий балл по самооценке, оценке руководителя и оценке коллеги складывается из двух вопросов по каждой категории. Максимальный балл в каждой категории равен 30. Сумма баллов находится по формуле (1)

$$A\Sigma = A_1 + A_2 + A_3. \quad (1)$$

Для графического изображения результатов используется лепестковая диаграмма (диаграмма RADADAR, или «паутина»), представленная на рисунке.

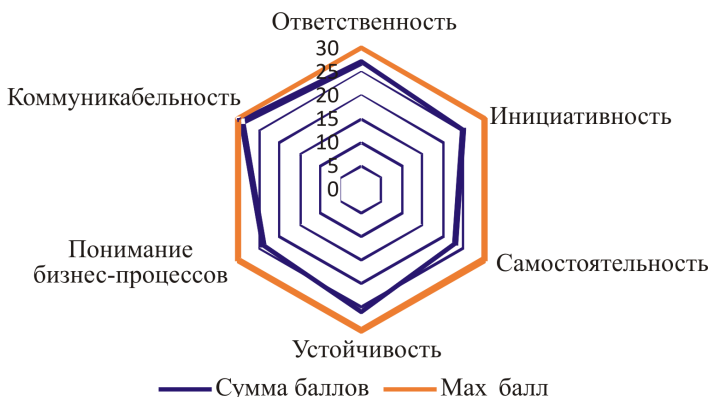


Рис. Лепестковая диаграмма по результатам оценки работника

Подобная методика позволяет увидеть взгляд на собственные достижения со стороны в ходе независимой оценки, узнать свои сильные и слабые стороны и выявить зоны для улучшения. Оценка по методу «360 градусов» способствует развитию и планированию карьерного роста сотрудника, увеличению продуктивности и лояльности к компании. Часто этот метод применяют, чтобы избежать ухода ценного сотрудника из компании и устранить конфликты в коллективе.

Дальнейшая модернизация метода оценки персонала «360 градусов» возможна за счет доработки критериев анкеты в части конкретизации требований профессионального стандарта для конкретной должности, что позволит оценить hard skills сотрудника, или его профессиональные компетенции.

Список литературы

1. Мизинцева М.Ф., Сардарян А.Р. Оценка персонала: учебник и практикум для бакалавров. – М.: Изд-во Юрайт, 2015. – 378 с.
2. HURMA – интернет-издание, зарегистрированное в качестве СМИ: Оценка персонала: методы, которые должен знать каждый HR [Электронный ресурс]. – URL: <https://hurma.work/rf/blog/oszenka-personala-metody-k> (дата обращения 28.02.2022).
3. Бабенко Е.С. Управление персоналом: учебник. – Минск: Академия, 2004. – 356 с.

Об авторах

Селезнева Алевтина Владимировна – старший преподаватель кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: seleznevaalya@mail.ru.

Черкасова Ирина Олеговна – студентка бакалавриата кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: cerkasovairina22@gmail.com.

Демин Илья Икромович – студент бакалавриата кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ilya.demin20@mail.ru.

Научное издание

ХИМИЯ. ЭКОЛОГИЯ. УРБАНИСТИКА

*Материалы
всероссийской научно-практической конференции
(с международным участием)*

г. Пермь, 28–29 апреля 2022 г.

В четырех томах

Том 1

Корректор *М.Н. Афанасьева*

Подписано в печать 13.05.2022. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 15,5. Тираж 25 экз. Заказ № 81/2022.

Отпечатано в типографии ООО «Цифровые решения»
г. Пермь, ул. Т. Барамзиной, 42/3